

DIE PROBLEMATIK DES LAYOUT IM FERTIGUNGSBEREICH VON INDUSTRIEBETRIEBEN

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors
der Wirtschaftswissenschaften
beim Fachbereich Wirtschaftswissenschaft
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Dipl.-Kfm. Dietmar Herold
aus Riesa

Berlin 1972

DIE PROBLEMATIK DES LAYOUT IM FERTIGUNGSBEREICH VON INDUSTRIEBETRIEBEN

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors
der Wirtschaftswissenschaften
beim Fachbereich Wirtschaftswissenschaft
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Dipl.-Kfm. Dietmar Herold
aus Riesa

Berlin 1972

Vorsitzender des Fachbereichs: Professor Dr. Gerold Krause-Junk
Referent: Professor Dr. Heinz Langen
Korreferent: Professor Dr. Günter Dlugos
Tag der mündlichen Prüfung: 3. Juli 1972



Vorwort

Diese Untersuchung befasst sich mit der Problematik des Layout im Fertigungsbereich von Industriebetrieben. Es geht um die Frage, in welcher Weise die Produktionsmittel im Betrieb einander zuzuordnen sind. Die vorliegende Schrift ist also ein Beitrag zur innerbetrieblichen Standortproblematik.

Auf den ersten Blick mag die Einrichtung von Betrieben als eine recht einfache Angelegenheit erscheinen. Die Anlagen müssen ebenso aufgestellt werden, dass ein möglichst guter Produktionsablauf gewährleistet ist. Bei dem Versuch, dieses Ziel zu erreichen, zeigt sich aber häufig, wie kompliziert das gestellte Problem in Wirklichkeit ist. Dann kann plötzlich der Eindruck erweckt werden, die sinnvolle Festlegung der innerbetrieblichen Standorte stelle eine nahezu unlösbare Aufgabe dar. Diese Arbeit dient daher dem Zweck, die Grundlage für ein systematisches Vorgehen zur Planung der Anordnung der betrieblichen Produktionsmittel zu liefern.

An dieser Stelle danke ich Herrn Professor Dr. Heinz Langen, der diese Arbeit betreut hat, für die Anregungen, die er mir bei der Anfertigung der Arbeit gegeben hat. Mein weiterer Dank gilt den Mitarbeitern der Deutschen Industrieanlagen GmbH für die mir gewährte Unterstützung.

Dietmar Herold



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Inhaltsverzeichnis

Einführung	1
I. Grundlagen des Layout	4
A. Die Problemstellung	4
1. Das Layout als Kosteneinflussgrösse	4
2. Die Zielsetzung beim Layout	8
a) Die Allgemeinform der Zielsetzung	8
b) Die speziellen Formen der Zielsetzung	10
B. Die Phasen des Layout	13
1. Die Layout-Planung	13
2. Die Layout-Realisation	14
3. Die Layout-Kontrolle	15
C. Die Abgrenzung des Themas	16
II. Layout-Einflussfaktoren	18
A. Das Produktprogramm	19
1. Die Produktart	19
2. Die Produktmenge	20
B. Das Fertigungsverfahren	21
1. Das realtechnische Verfahren	21
a) Die Teilezahl	21
b) Die Arbeitsgangfolgen	22
c) Die Bewegungsfolgen	23
d) Die Produktionsmaschinen	24
2. Das organisationstechnische Verfahren	25
a) Die Werkstattfertigung	25
b) Die Strassenfertigung	26
c) Die Verfahrenskombinationen	27

C. Der Materialfluss	28
1. Der Materialtransport	29
a) Die Transportmittel	29
b) Die Transportwege	29
2. Die Materiallagerung	31
D. Die innerbetrieblichen Dienstleistungsstellen	32
E. Das Betriebsgebäude	33
F. Das Betriebsgrundstück	36
III. Layout-Planung	38
A. Die Analyse der Layout-Aufgabe	38
1. Die Aufgabenarten	38
2. Die Einflüsse der Layout-Aufgabe auf den Pla- nungsablauf	39
B. Die Ermittlung der Planungsdaten	40
1. Der Datenumfang	41
2. Die Unterlagen für die Datenermittlung	41
a) Der Absatzplan	42
b) Die Zeichnungen und Stücklisten	42
c) Der Organisationsplan und die Arbeitsablauf- pläne	44
d) Der Bedarfsplan	48
e) Die Anlagenkartei	49
f) Der Grundstücks- und Bauplan	51
C. Die Layout-Grobplanung	51
1. Der Ablauf der Grobplanung	52
a) Die Bildung des normierten Verteilungsdi- gramms	53
b) Die Entwicklung des Raumdiagramms	55
c) Die Anpassung des Raumdiagramms an die räumlichen Gegebenheiten	56

2. Die klassischen Verfahren der Grobplanung . .	61
a) Das Travel-Charting	61
b) Das Dreieckverfahren	69
3. Die modernen Verfahren der Grobplanung	73
a) Die Kreismethode	73
b) Die Flood'sche Zurechnungstechnik	80
c) Das Vertauschungsverfahren	89
d) Die Kontraktionsmethode	98
D. Die Layout-Feinplanung	106
1. Die Layout-Darstellungsmittel	107
a) Die Zeichnungen	107
b) Die Schablonen	109
c) Die dreidimensionalen Modelle	110
2. Die Anordnung der Arbeitsplätze in Werkstätten	112
3. Die Arbeitsplatzgestaltung	116
E. Die Installationsplanung	120
IV. Ansatzpunkte zur Kritik beim Layout	122
A. Die Beschränkung auf bestimmte Layout-Aufgaben	122
B. Die Fragwürdigkeit der Layout-Einflussfaktoren ..	124
1. Die geringe Aussagekraft der Einflussfaktoren .	125
2. Die fehlende Allgemeingültigkeit einiger Ein-	
flussfaktoren	125
C. Die Datenproblematik	127
1. Die Vorgabe bestimmter Daten	127
2. Die Unvollkommenheit der Daten	130
D. Die Vereinfachungen der Layout-Grobplanung	131
1. Die Normierung des Layout-Problems	132
2. Das Heranziehen der Transportkosten als allei-	
niges Entscheidungskriterium	133
3. Die Ermittlung der Transportkosten	135
4. Der Verzicht auf Verfahrensvergleiche	137

E. Die Mängel der Layout-Feinplanung	140
1. Der geringe Informationsgehalt der Hinweise für das Werkstatt-Layout	141
2. Der begrenzte Wert der Bewegungsstudie	141
V. Zusammenfassung	144
Literaturverzeichnis	147
Abkürzungsverzeichnis	157

Verzeichnis der Abbildungen

1: Formen von Montagestrassen	27
2: Gebäudeformen	35
3: Arbeitsablauftabelle 1	45
4: Arbeitsablauftabelle 2	46
5: Arbeitsablauf-Diagramm (Materialflussbild)	46
6: Bewegungsablaufbogen	47
7: Berechnung der Maschinenzahl	48
8: Arbeitsgangfolgen von neun Produkten und anfallende Transportmengen (to).....	63
9: Travel-Chart (aus Abb.8 abgeleitet) (Beträge in to) ...	63
10: Verteilungsdiagramm 1 (Ausgangslösung) (Beträge in to)	64
11: Berechnung der Transportkosten 1 (aus Abb.10 abge- leitet)	65
12: Verteilungsdiagramm 2 (verbesserte Lösung) (Beträge in to)	66
13: Berechnung der Transportkosten 2 (aus Abb.12 abge- leitet)	67
14: Transportmengenmatrix (Beträge in to)	70
15: Anordnung der Einheiten im Dreieckschema (Vertei- lungsdiagramm) (Beträge in to)	71
16: Matrix der Transportweglängen (Kreisradien) (Beträge in m)	74
17: Die Kreismethode zur Entwicklung des Verteilungs- diagramms	78
18: Anordnung von vierzehn Arbeitsplätzen nach der Kreismethode (Verteilungsdiagramm)	79
19: Transportmengenmatrix (Beträge in to)	83
20: Entfernungsmatrix (Beträge in m)	83
21: Transportkostenmatrix (Gesamtmatrix) (Beträge in DM)	84

22: Gesamtmatrix (aus Abb. 21 abgeleitet) (Beträge in DM)	86
23: Entfernungsmatrix D (Beträge in m)	94
24: Reduzierte Entfernungsmatrix D (Beträge in m)	94
25: Mengenmatrix Q (Beträge in to)	95
26: Verteilungsdiagramm nach siebenzig Kontraktionen	102
27: Verteilungsdiagramm nach einhundert Kontraktionen ..	103
28: Schablonen-Darstellung	110
29: Layout-Darstellung durch ein dreidimensionales Modell	111
30: Formen des Werkstatt-Layout (Reihe, Kreis, Stern)...	113
31: Arbeitsplatz-Layout	119
32: Installations-Ablaufplan	121

Einführung

Der Begriff "Layout" ist in dem hier gebrauchten Sinn in Deutschland bisher weitgehend unbekannt. Fragt man jemand, was er unter Layout versteht, so bekommt man oft zur Antwort, es müsse sich dabei um einen Begriff aus Werbung und Journalismus handeln. Tatsächlich ist dort vom Layout die Rede, wenn es um die Festlegung von Papierformat, Schriftarten und Schriftgrößen sowie um die Anordnung von Text und Bild geht.¹⁾

In dieser Arbeit hat das Wort "Layout" jedoch eine andere Bedeutung. Es bezieht sich auf einen Sachverhalt, der in der amerikanischen Literatur mit "Plant Layout" benannt wird.

Auch wenn in den einzelnen Büchern die Begriffserklärungen nicht wörtlich gleich sind, so besteht doch, wie die nachfolgenden Zitate zeigen, eine weitgehende sinngemässe Übereinstimmung.

"It (plant layout) deals with the arrangement of the physical facilities and manpower required to manufacture a product".²⁾

"The (plant) layout - or arrangement of men, machines and materials- ..."³⁾

"Plant layout embraces the physical arrangement of industrial facilities."⁴⁾

Eine freie Übersetzung, welche die Gemeinsamkeiten der drei Begriffsbestimmungen berücksichtigt, könnte lauten: Plant Layout umfasst die Anordnung der Gesamtheit der betrieblichen Einrichtungen.⁵⁾

1) Vgl. Wills (Layout) insbesondere S. 11f.

2) Apple (Layout) S. 3

3) Moore (Layout) S. 93

4) Muther (Layout) S. 3

5) Vgl. dazu die ähnliche Begriffsbestimmung von Buser (Anordnung) S. 13

Dementsprechend ist der hier verwendete Begriff "Layout" ¹⁾ zu verstehen. Mit dem Ausdruck "Anordnung" kann die im Plan oder in der Wirklichkeit bereits vorhandene Anordnung oder die Tätigkeit des Anordnens mit den damit verbundenen Arbeiten gemeint sein. ²⁾ Worum es sich jeweils handelt, geht aus dem Zusammenhang hervor. ³⁾

Betriebseinrichtungen sind die Produktionsmittel (Produktionsanlagen) wie Gebäude, Maschinen, Material, Werkzeuge und sonstige Ausstattungen (z. B. Transportmittel, Tische, Regale, Werkzeugkästen etc.). Bei ihrer Anordnung (Verteilung) - die vorliegende Untersuchung beschränkt sich dabei auf den Fertigungsbereich von Industriebetrieben - ist ausser für sie selbst noch Raum für Transportwege, Zwischenlager sowie für Bedienungs- und Hilfspersonal einzuplanen.

Ein Layout "hat" man schon, wenn man die innerbetrieblichen Einrichtungen an beliebigen Plätzen in den Raum stellt. Die Frage ist nur, ob und zu welchen Kosten dann das gewünschte Produkt hergestellt werden kann. Es besteht nämlich die Gefahr, dass es bei einer unzweckmässigen Anordnung der Anlagen z. B. infolge gegenseitiger Behinderung der Arbeiter oder infolge langer Transportwege zu Produktionsstörungen- und Unterbrechungen kommt. Das lässt sich nur durch eine sorgfältige Layout-Planung vermeiden. Die Aufgabe dieser Arbeit wird deshalb darin gesehen, einen Planungsablauf aufzuzeigen, der die Entwicklung eines guten Layout erlaubt.

1) Zwar müsste es genau genommen immer "Plant Layout" heissen; auch in der einschlägigen amerikanischen Literatur wird aber, nachdem der Begriff "Plant Layout" erst einmal geklärt ist, oft nur noch "Layout" gesagt.

2) Vgl. Muther (Layout) S. 3

3) Zur Verdeutlichung des Gemeinten wird bei den Anordnungsarbeiten auch oft z. B. von Layout-Planung, Layout-Gestaltung oder Layout-Entwicklung und dagegen bei einer existierenden Anordnung z. B. vom vorhandenen, fertigen oder bestehenden Layout gesprochen.

Nach der Erörterung der Layout-Grundlagen wird ein Überblick über die Vielfalt der Einflussfaktoren vermittelt, die bei der Layout-Planung Bedeutung gewinnen können. Danach erfolgt die Darstellung des Planungsablaufs, wobei ein Schwerpunkt auf der Behandlung spezieller Verfahren zur Layout-Grobplanung liegt. Hieran knüpft sich eine kritische Analyse, welche die schwachen Stellen des gezeigten Vorgehens verdeutlichen soll. Abschliessend wird eine Zusammenfassung der erzielten Untersuchungsergebnisse gegeben.

I. Grundlagen des Layout

In den Grundlagen soll die Layout-Problemstellung klar umrissen und die Aufgliederung der Layout-Gestaltung in einzelne Phasen vorgenommen werden. Ergänzend dazu präzisiert die Abgrenzung des Themas den Untersuchungsbereich dieser Arbeit.

A. Die Problemstellung

Die Problemstellung beim Layout wurde schon im Vorwort und in der Einführung angedeutet. Es geht darum, ein "produktionsgerechtes" Layout zu erstellen. Grössere Klarheit bringt folgende Überlegung; Durch die Anordnung der Einrichtungen an bestimmten Plätzen können die Produktionskosten beeinflusst werden. Die Layout-Zielsetzung wird nun in einem wirtschaftlich orientierten Betrieb darauf gerichtet sein, ein möglichst kostengünstiges Layout zu entwickeln. Somit stellt sich die Frage, wie dieses Ziel erreicht werden kann.

Zur näheren Einführung in die Problemstellung ist es zweckmässig, die Rolle des Layout als Kosteneinflussgrösse sowie die Layout-Zielsetzung genauer zu erörtern.

1. Das Layout als Kosteneinflussgrösse

Kosten sind bewerteter, leistungsbezogener Güterverzehr.¹⁾ Unter Gütern sind nicht nur Sachgüter (Mobilen und Immobilien), sondern alle realen und nominalen Wirtschaftsgüter zu verstehen.²⁾

Bei der Anordnung der Einrichtungen (beim Layout) können praktisch alle im Betrieb anfallenden Kostenarten berührt werden. Ein grober Katalog der Kostenarten umfasst fünf Gruppen:³⁾

1) Vgl. Kosiol (Buchhaltung) S. 16

2) Vgl. Ebenda

3) Vgl. Kosiol (Kostenrechnung) Sp. 3434 ff. und Kosiol (Buchhaltung) S. 196 ff.

- (1) Verbrauchskosten (Kosten für Material, für Betriebsarbeit, für Fremddienste und Fremdrechte)
- (2) Gebrauchskosten (materielle und immaterielle Abschreibungen)
- (3) Wagniskosten (Katastrophenverschleiss, Kosten für Ausschuss sowie für fehlgeschlagene Forschung und Entwicklung)
- (4) Abgaben (zwangsweise erhobene Steuern, Gebühren und Beiträge)
- (5) Zinsen (Kosten der Kapitalnutzung)

Die Kennzeichnung des Layout als Kosteneinflussgrösse erfolgt aber meist nicht durch Bezugnahme auf eine bestimmte Kostenart, sondern durch Hervorhebung einzelner Komponenten der Gesamtkosten, die eine Mischung von Kostenarten sind. Dazu zählen beispielsweise die Transportkosten (Förderkosten), die Installationskosten, die Raumkosten und die Entwicklungskosten.

Transportkosten, genauer innerbetriebliche Transportkosten, fallen an, weil das Material im Betrieb zwischen Eingangs- und Ausgangslager jeweils von einer Bearbeitungsstation zur nächsten befördert werden muss. Der Einfluss des Layout auf die Transportkosten zeigt sich daran, dass durch die Wahl der Standorte der Produktionsmittel eine Einwirkung auf die Transportweglängen möglich ist. Davon hängt wiederum ab, wie schnell ein Produkt den Fertigungsbereich durchläuft und wieviele Transportmittel und Transportarbeiter benötigt werden.

Der Mischcharakter der Transportkosten tritt hervor, wenn man nach den Kostenarten fragt, die darin enthalten sind.¹⁾ Die Löhne für das Transportpersonal stellen Verbrauchskosten, die Abschreibungen auf die Transportmittel dagegen Gebrauchskosten dar. Wagniskosten entstehen für unvorhergesehen zerstörte Transportmittel oder Transportgüter und Zinskosten für das im Förderwesen

1) Vgl. Heiner (Förderwesen) S. 59 ff. Heiner gibt eine umfassende, jedoch in einigen Punkten von der hier gezeigten Aufgliederung der Kostenarten abweichende, Systematik der Kosten des innerbetrieblichen Transports.

und - für die Dauer des Transports - im Fördergut gebundene Kapital.¹⁾

Die Installationskosten werden durch das Anbringen der Betriebseinrichtungen an den ausgewählten Standorten verursacht. Zur Installation gehört z. B. der Anschluss der Maschinen an Versorgungsleitungen für Elektrizität, Gas, Wasser, Pressluft etc. sowie die Schaffung von Fundamenten für besonders schwere Maschinen.

Regelmässig kommen für einzelne Anlagen oder ganze Abteilungen mehrere Standorte in Frage. Die Installationskosten an diesen Plätzen können aber variieren, weil eine Verlegung von Versorgungsleitungen in unterschiedlichem Umfang erforderlich ist oder die Verankerung der Anlagen mehr oder weniger grosse Schwierigkeiten bereitet. Mit der Entscheidung für einen bestimmten Standort kann demnach Einfluss auf die Kosten der Installation genommen werden. Als Kostenarten sind darin vorwiegend Lohn-, Material- und Werkzeugkosten enthalten. Wird die Installation von fremden Firmen vorgenommen, so ergeben sich Kosten für Fremddienste.

Der bei einer Standort-Verteilung beanspruchte Raum findet seinen Ausdruck in den Raumkosten, die sich wiederum aus den Abschreibungen auf das Gebäude und den laufenden Gebäudenutzungskosten (Lohn und Material für Heizung, Reinigung, Instandhaltung etc.) zusammensetzen. Bei betriebsstrenden Gebäuden stellt die Miete die Raumkosten dar. Der Raumbedarf ändert sich, je nach dem wie weit die Anlagen auseinandergestellt werden.

Schliesslich sind noch die Entwicklungskosten hervorzuheben. Damit sollen diejenigen Kosten erfasst werden, die bei der Entwicklung

1) Wenn man die Zinsen für das im Fördergut steckende Kapital den Transportkosten zurechnet, schlägt sich die - auf einer Reduzierung der Weglängen beruhende - Verkürzung der transportbedingten Durchlaufzeit in einer Verminderung der Transportkosten nieder.

des Layout für die mit den Planungsarbeiten befassten Personen und die dabei eingesetzten Hilfsmittel (z. B. Rechenanlagen und Betriebsmodelle) anzusetzen sind. Schon jetzt sei auf einen zwischen Entwicklungskosten und Layout-Qualität häufig bestehenden Zusammenhang verwiesen: Je höher die für die Entwicklung aufgewendeten Kosten sind, umso besser dürfte die Layout-Qualität, d. h. umso kostengünstiger dürfte das Layout sein.

Die bis jetzt erwähnten Fälle der Beeinflussung bestimmter Kosten durch das Layout erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit.¹⁾ Sie werden aber als ausreichend betrachtet, um den Charakter des Layout als Kosteneinflussgrösse zu dokumentieren.

Von den beeinflussbaren Kosten kommt den Transportkosten häufig besondere Bedeutung zu. Das resultiert aus ihrem relativ grossen Anteil an den Gesamtkosten im Industriebetrieb. Dafür lassen sich mehrere Beispiele nennen:

So gibt Heiner an, dass der Anteil der Förderkosten an den gesamten Kosten in einer Kunstseidenfabrik 13%, in einer Margarinefabrik 30% und in einer Steinkohlenzeche etwa 22% betrug.²⁾

Immer spricht im Hinblick auf amerikanische Verhältnisse davon, dass ca. 25% der Löhne in der Industrie für Transportkosten anzusetzen sind.³⁾

Auch andere Autoren stellen die Wichtigkeit der innerbetrieblichen Transportkosten heraus.⁴⁾

1) Weitere Beispiele sind Beleuchtungs-, Versicherungs-, Durchlüftungskosten etc. Vgl. dazu die detaillierten Untersuchungen von Hundhausen (Standortsfragen) S. 38ff.

2) Vgl. Heiner (Förderwesen) S. 19f.

3) Vgl. Immer (Handling) S. 3

4) Vgl. Schmidt (Standort) S. 33f.; Schmidt (Arbeitsablauf) S. 34; Krippendorff (Materialfluss) S. 7, S. 129; Refa (Arbeitsgestaltung, Bd. 1) S. 72; Mellerowicz (Industrie, Bd. 2) S. 268f.

Allerdings darf diese Tatsache nicht dazu verleiten, die Beeinflussungsmöglichkeiten anderer Kosten durch die Standortwahl zu übersehen. Trotzdem scheint aber die Annahme berechtigt, dass die Transportkosten beim Layout von ausserordentlicher Wichtigkeit sind. Dem trägt diese Untersuchung dadurch Rechnung, dass bei der Layout-Planung den Transportkosten die grösste Aufmerksamkeit geschenkt wird.¹⁾

2. Die Zielsetzung beim Layout

Bei der Anordnung der betrieblichen Einrichtungen können unterschiedliche Ziele verfolgt werden. Beispielsweise wäre es denkbar, ein möglichst gut überschaubares oder ein hauptsächlich auf die Bequemlichkeit und Zufriedenheit des Personals ausgerichtetes Layout anzustreben. Hier wird jedoch ein ausschliesslich an wirtschaftlichen Überlegungen orientiertes Layout verlangt, wobei nicht ausgeschlossen ist, dass die oben genannten Ziele auch einen ökonomischen Aspekt haben können.

Die Layout-Zielsetzung wird zunächst recht allgemein formuliert. Dann gilt es, einige der speziellen Zielsetzungen darzustellen, die sie umfasst und die unter bestimmten Umständen an ihre Stelle treten können.

a) Die Allgemeininform der Zielsetzung

Das Layout soll dem Grundsatz der Wirtschaftlichkeit gerecht werden. Wirtschaftlichkeit bedeutet ein als optimal angestrebtes Verhältnis von Mitteln und zugehörigem Ergebnis.²⁾ Dementsprechend muss ein bestimmtes Ergebnis (z. B. eine Produktionsleistung) mit optimalen Mitteln (z. B. Kosten) erreicht werden.³⁾ Da durch die

1) Zur Problematik dieses Vorgehens vgl. die Ausführungen unter IV D 2.

2) Vgl. Kosiol (Aktionszentrum) S. 13

3) Vgl. Ebenda

Anordnung der Anlagen Einfluss auf die Kosten genommen werden kann, stellt sich beim Layout die Forderung nach Wirtschaftlichkeit in der Weise, dass von mehreren möglichen Anordnungen diejenige zu verwirklichen ist, bei der die beeinflussbaren Kosten optimal sind. Unter optimalen Kosten werden minimale Kosten verstanden. Die Layout-Zielsetzung kann nun, wenn eine gegebene Produktionsleistung einzuhalten ist, folgendermassen formuliert werden: Beim Layout ist so vorzugehen, dass die Summe der beeinflussbaren Kosten minimiert wird.

Wenn diese Zielsetzung erreicht wird, liegt ein optimales Layout (Layout-Gesamtoptimum) vor. Eine Voraussetzung zur Zielerfüllung ist die korrekte Berechnung der beeinflussbaren Kosten. Dazu ist es erforderlich, eine konsequente Aufgliederung in Kostenarten vorzunehmen.¹⁾ Grundlage dafür kann das oben entwickelte Schema sein. Schwierigkeiten bei der Festlegung der Höhe bestimmter Kostenarten ergeben sich jedoch, wenn das Layout nur indirekt d.h. über andere Faktoren wie Gesundheit und Zufriedenheit der Belegschaft auf die Kosten einwirkt. Dann müssen Schätzungen über den Einfluss des Layout auf die Kosten angestellt werden.

Welche Kosten alle beeinflussbar sind, lässt sich nicht generell sagen, weil das von den Gegebenheiten des Einzelfalls abhängt.²⁾ Es ist aber wahrscheinlich, dass es im allgemeinen mehrere Kostenkomponenten sein werden, die beim Layout berührt werden, und deren Summe zu minimieren ist. Schon jetzt sei aber festgestellt, dass die später beschriebenen Verfahren fast alle nur auf eine Kostengrösse ausgerichtet sind.³⁾

1) Für die innerbetrieblichen Transportkosten haben das unter anderem durchgeführt: Heiner (Förderwesen) S. 59 ff. sowie Ellersieck und Leimeister (Transportkosten) S. 363 ff.

2) Auch im speziellen Einzelfall ist aber die Erfassung aller beeinflussbarer Kosten häufig ziemlich kompliziert, weil gar nicht alle Bereiche überblickt werden können, in denen sich das Layout kostenmässig auswirkt.

3) Ausserdem dienen diese Verfahren nur der Bildung des sogenannten normierten Verteilungsdiagramms, das im weiteren Verlauf der Layout-Planung noch Änderungen unterliegen kann (vgl. III C 1a).

Derartige Vereinfachungen sind nur dann unbedenklich, wenn der betrachtete Kostenfaktor für die übrigen beeinflussbaren Kosten repräsentativ ist, wenn also seine Minimierung zugleich die Minimierung der anderen Kosten bedeutet. Dieser Nachweis kann aber nicht geführt werden, so dass die Möglichkeit zur Erreichung der Layout-Zielsetzung von vornherein vorsichtig zu beurteilen ist.¹⁾

Darüber hinaus muss darauf hingewiesen werden, dass mehrere Verfahren häufig noch nicht einmal im Hinblick auf nur eine Kostengrösse ein optimales Layout liefern. Diese Verfahren sind so konzipiert, dass sie nur einige nicht aber alle möglichen Anordnungen untersuchen und davon die beste ermitteln. Die derartig erzielten Lösungen werden als praktische Optima bezeichnet. Ein theoretisch optimales Ergebnis liegt dagegen vor, wenn nach Überprüfung aller Anordnungsalternativen die günstigste ausgewählt wird. Mit der Bezeichnung der besten aller möglichen Anordnungen als "theoretisch" ist nicht die Vorstellung verbunden, ein solches Layout liesse sich nicht ermitteln. Es handelt sich vielmehr primär um ein Unterscheidungskriterium. Allerdings kann der Rechenaufwand bei theoretischen Optima so gross sein, dass man auf ihre Wirklichkeit lieber verzichtet. Insofern erscheinen sie dann als theoretisch.

b) Die speziellen Formen der Zielsetzung

Die Layout-Zielsetzung kann, je nach dem welche Kosten beeinflussbar sind, durch spezielle Zielsetzungen ausgedrückt werden. Wenn z.B. nur die Transportkosten beeinflussbar sind, ergibt sich als spezielle Zielsetzung die Transportkosten - Minimierung. Kann dagegen nur auf die Installationskosten Einfluss genommen werden, ist das Installationskosten-Minimum anzustreben usw.

1) Korrekterweise müsste ein Layout, das aufgrund der Optimierung nur einer einzigen oder eines Teils der beeinflussbaren Kostengrössen erzielt wird, als Suboptimum im Gegensatz zum angestrebten Gesamtoptimum benannt werden. Im folgenden wird jedoch oft kurz vom "Optimum" gesprochen.

Bemerkenswert aber ist, dass auch viele spezielle Zielsetzungen denkbar sind, die nicht direkt unmittelbar auf Kostengrossen, sondern auf andere Massstäbe beziehen. All diesen Zielsetzungen, die auch als Prinzipien oder Grundsätze bezeichnet werden, ist aber gemeinsam, dass sie letztlich die Minimierung bestimmter Kosten bezwecken bzw. so interpretiert werden können.

Besonders Handhausen hat eine umfangreiche Aufstellung solcher Prinzipien vorgenommen.¹⁾ So verfolgen die Anordnungsprinzipien des relativ kürzesten Weges, des Gewichtesfalles, der schiefen Ebene sowie der vorwärtsgereinigten Produktion das Ziel, die Transportkosten zu minimieren.

Der relativ kürzeste Weg ist derjenige, der einen Transport zu den geringsten Kosten erlaubt. In diesem Sinne kann ein Weg kürzer sein als ein anderer, selbst wenn er streckenmässig länger ist. Nach dem Prinzip des Gewichtesfalles muss der Transportweg mit zunehmendem Gewicht der Fordergüter abnehmen, während das Prinzip der schiefen Ebene die Nutzung der Schwerkraft verlangt. Das Prinzip der hintereinandergeschalteten Produktion besagt, dass die Einrichtungen so anzuordnen sind, dass das Material den Betrieb nur vorwärtsgereinigt durchläuft. Rücklieferungen zu bereits passierten Maschinen sollen ausgeschaltet werden.

Dagegen wird beim Prinzip der besten Durchblutung die Minimierung der Ventilationskosten erstrebt. Hier sind die Standorte in der Weise zu wählen, dass die natürlichen Luftströmungen in den Dienst der Ventilation gestellt werden.

Weiterhin werden bei Handhausen angeführt die Prinzipien der grössten Übersicht und Kontrolle, der geringsten Benutzung, der gemeinsamen Benutzung, der besten Beleuchtung, der Risikoverteilung und der Raumfreisetzung.²⁾ Alle Prinzipien verlangen ein Layout,

1) Zur folgenden Erläuterung der Prinzipien vgl. Handhausen (Standortsfragen) S. 18ff.

2) Vgl. Ebenda S. 34ff.

das im Hinblick auf bestimmte Kosten wie Kontroll-, Gebäude- und Beleuchtungskosten etc. optimal ist. Ähnlich wie Hundhausen hat auch Mellerowicz spezielle Layout-Zielsetzungen - er nennt sie Grundsätze - formuliert.¹⁾ Wegen der vielfach vorhandenen Parallelität mit Hundhausens Prinzipien soll jedoch die Erläuterung der Grundsätze unterbleiben.

Bis jetzt wurde stillschweigend davon ausgegangen, dass sich die speziellen Zielsetzungen lediglich auf einen einzelnen Kostenfaktor beziehen. Das wird jedoch im allgemeinen nicht so sein. Vielmehr sind viele Fälle vorstellbar, wo man auf die Minimierung einer Summe von Kostengrößen abzielt. Wenn z. B. zugleich die Transport-, Installations- und Entwicklungskosten beeinflusst werden können, so ist die Summe dieser Kosten zu minimieren. An dem Beispiel offenbart sich aber, dass die Zusammenfassung der oben isoliert dargestellten Kostengrößen Schwierigkeiten bereiten kann, weil sich einige der Kosten entgegengesetzt entwickeln können. Je höher nämlich beispielsweise die Entwicklungskosten sind, umso besser wird die Zielsetzung hinsichtlich der übrigen Kosten erfüllbar sein.

Die Entwicklungskosten verdienen besondere Aufmerksamkeit, weil sie bei grösseren Layout-Problemen durch den Einsatz von elektronischen Rechanlagen und die Konstruktion von Betriebsmodellen eine beachtliche Höhe erreichen können. Da regelmässig eine Divergenz zwischen den Entwicklungskosten und den übrigen Kosten existieren dürfte, müsste immer abgewogen werden, ob ein Mehr an Entwicklungskosten durch andere Kostensenkungen überkompensiert wird. Solange das geschieht, erfolgt eine Annäherung an die allgemeine Layout-Zielsetzung nach Minimierung der Summe aller Kosten. Aufgrund dieser Zielsetzung könnte es durchaus notwendig werden, auf die Erreichung des Optimums eines einzelnen Kostenfaktors

1) Vgl. Mellerowicz (Industrie, Bd. 1) S. 252 ff.

(z. B. der Transportkosten) zugunsten des Gesamtoptimums zu verzichten.

Nun wurde aber schon gesagt, dass die zu erörternden Optimierungsverfahren in der Regel nur einen Kostenfaktor verfolgen. Da die Transportkosten unter den beeinflussbaren Kosten eine dominierende Rolle einnehmen, werden insbesondere sie Gegenstand von Optimierungsbemühungen sein. Daher ist in dieser Arbeit - jedenfalls soweit Optimierungsverfahren behandelt werden - fast ausschliesslich die Zielsetzung der Transportkosten-Minimierung aktuell. Klarheit muss aber darüber bestehen, dass es sich dabei grundsätzlich nur um die Bestimmung von Suboptima handelt. Das gilt schon aus dem Grunde, weil die Entwicklungskosten, die in jedem Falle relevant sind, nicht mit in die Optimierung eingehen.

Um trotzdem wenigstens eine lose Verbindung zur allgemeinen Layout-Zielsetzung zu wahren, werden im Verlauf der Untersuchung an geeigneten Stellen die Auswirkungen weiterer beeinflussbarer Kosten (insbesondere der Entwicklungs-, Installations- und Umbaukosten) auf die einseitigen Ergebnisse angedeutet.

B. Die Phasen des Layout

Die Layout-Gestaltung kann man in die Phasen Layout-Planung, Layout-Realisation, und Layout-Kontrolle zerlegen. Die vorliegende Arbeit wird sich nach der Behandlung der Grundlagen des Layout auf die Untersuchung der Planungsphase beschränken. In Wirklichkeit sind die drei Phasen jedoch eng miteinander verbunden. Deshalb sollen sie unter Beachtung der zwischen ihnen bestehenden Rückverbindungen kurz geschildert werden.

1. Die Layout-Planung

Planung ist ein die Realisation vorbereitendes Denkhandeln.¹⁾ Sie ist in die Zukunft gerichtet und umfasst alle der Realisationen voran-

1) Vgl. Kosiol (Planung) S. 389

gehenden Überlegungen über die erstrebten Ziele und über die Mittel und Wege zu ihrer Erreichung.¹⁾ Die Planung des Layout erfolgt in einem systematischen, in mehrere Schritte gegliederten Ablauf.

Der erste Schritt besteht darin, sich ein klares Bild von der Layout-Aufgabe zu verschaffen. Handelt es sich um die Neuerrichtung eines Betriebes, um die Neuplanung einzelner Betriebsbereiche oder um die Umgestaltung eines bestehenden Layout? Welche Vorstellungen hat die Betriebsleitung von dem zu entwickelnden Layout? Existieren bestimmte einschränkende Anweisungen z. B. finanzieller, baulicher, fertigungstechnischer Natur?

Nach der Analyse der Aufgabe sind die Layout-relevanten Daten zu ermitteln. Dabei bedient man sich der vorhandenen Planungsunterlagen wie Absatz-, Arbeitsablauf - und Bauplänen.

An die Datenermittlung schliesst sich die Layout-Grobplanung an, welche die Verteilung der sogenannten Anordnungseinheiten (Organisationseinheiten), das sind einzelne undetaillierte Arbeitsplätze sowie Gruppen gleichartiger undetaillierter Arbeitsplätze, zum Gegenstand hat.²⁾

Im Rahmen der Feinplanung werden dann die funktionsgleichen Arbeitsplatzgruppen aufgegliedert und die Details der einzelnen Arbeitsplätze sichtbar gemacht und einander sinnvoll zugeordnet.

Den letzten Schritt bildet die Installationsplanung. Sie legt fest, wie das im Plan soweit fertige Layout in die Realität übertragen werden kann.

2. Die Layout-Realisation

An die Layout-Planung schliesst sich die Verwirklichung des Geplanten an. Dabei handelt es sich um die Installierung der Produk-

1) Vgl. Kosiol (Planung) S. 389

2) Ein undetaillierter Arbeitsplatz zeigt noch keine Arbeitsplatzkomponenten wie Maschinen, Tische oder Regale. Er repräsentiert lediglich die insgesamt von diesen Einrichtungen benötigte Fläche

tionsmittel an den im Plan bestimmten Standorten. Die Phase der Realisation spielt bei der Layout-Gestaltung im Vergleich zur Planung eine untergeordnete Rolle, da die wichtigsten Punkte bereits feststehen: Es ist geklärt, wie das Layout aussehen und wie die Verwirklichung vor sich gehen soll.

Fraglich ist allerdings, ob sich alles plangemäss durchführen lässt. Schwierigkeiten können z. B. entstehen, wenn die Installateure aus Unkenntnis oder Nachlässigkeit nicht plangemäss vorgehen oder wenn sich bei der Realisation Planungsfehler zeigen.

3. Die Layout-Kontrolle

Die Layout-Kontrolle bezieht sich auf die Planungs- und Realisationsphase. Schon während der Planungsphase sollten die Daten, die Rechenoperationen und die Ergebnisse einer ständigen Kontrolle unterliegen. Festgestellte Planungsfehler bewirken Massnahmen zu ihrer Behebung. Damit wird die angesprochene Rückwirkung zwischen den Layout-Phasen - hier zwischen Kontrolle und Planung - offenbar.

Allerdings sind nicht alle Fehler schon im Verlauf der Planung erkennbar. Soweit die Fehler auf einer vermeidbaren Lückhaftigkeit, auf Widersprüchlichkeit oder unlogischen Folgerungen beruhen, ist der Plan kontrollierbar und korrigierbar.¹⁾ Werden dagegen zukunftsorientierte Planungsgrössen trotz aller Sorgfalt falsch geschätzt, so können die Fehler erst beim Vergleich der geschätzten mit den tatsächlichen Grössen entdeckt werden.

Ausser auf die Planung kann die Kontrolle auch auf die Realisation gerichtet sein, um Differenzen von Planungs-Soll und Realisations-Ist aufzuzeigen. Auch hier besteht eine Rückwirkung und zwar derart, dass Realisationsfehler Änderungen des Layout-Plans notwendig machen können.

1) Vgl. Kosiol (Aktionszentrum) S. 188 f.

C. Die Abgrenzung des Themas

Entsprechend der Themenstellung der Arbeit erfolgt eine Eingrenzung der Layout-Untersuchung auf den Fertigungsbereich industrieller Betriebe .

Ein Industriebetrieb ist im Gegensatz zum Dienstleistungs- und Handelsbetrieb durch die Produktion von Sachgütern zu Konsum-, Investitions- oder Weiterverarbeitungszwecken gekennzeichnet. Vom Handwerk, das auch Sachgüter herstellt, lässt er sich z.B. durch den grösseren Betriebsumfang und die stärkere maschinelle Ausstattung unterscheiden. ¹⁾

Der Fertigungsbereich eines Industriebetriebes umfasst jede Station der zu bearbeitenden Einsatzgüter zwischen Einsatz- und Absatzlager. ²⁾ Damit sind die anderen Betriebsbereiche wie das Einsatz- und Absatzlager selbst sowie der Empfang und Versand und insbesondere auch die Verwaltungsstellen von der Untersuchung ausgeschlossen. Da jedoch das Layout des Fertigungsbereichs nicht isoliert vom übrigen Betrieb vorgenommen werden kann, müssen mitunter auch die angrenzenden Betriebsbereiche, also das Einsatz- und Absatzlager, mit in die Betrachtungen einbezogen werden. ³⁾ Das geschieht aber nur bei der Layout-Grobplanung. Auf eine Detaillierung dieser Einheiten innerhalb der Feinplanung wird verzichtet. In gleicher Weise wird mit den nur mittelbar zur Fertigung gehörenden Dienstleistungsstellen verfahren. Dazu zählen Kontroll- und Revisionsstellen, Reparaturabteilungen oder sanitäre Anlagen und Umkleidekabinen.

Eine über das Begriffliche hinausgehende Eingrenzung der Thematik erfolgt durch die Voraussetzung, beim Layout seien von vornherein

1) Vgl. Mellerowicz (Industrie, Bd. 1) S.11

2) Vgl. Kosiol (Aktionszentrum) S.120 ff.

3) Da Einsatz- und Absatzlager wiederum in Zusammenhang mit den sonstigen betrieblichen Stationen stehen, wirken sich auch diese indirekt auf das Layout im Fertigungsbereich aus.

bestimmte Mindest-Daten, nämlich das Produktprogramm, das Fertigungsverfahren und das Betriebsgrundstück, gegeben.¹⁾ Die Vorgabe zusätzlicher Daten, beispielsweise des Betriebsgebäudes mit beliebiger Ausstattung, ist jedoch dadurch nicht ausgeschlossen.

Zwei weitere wesentliche Beschränkungen dieser Arbeit bestehen darin, dass Besonderheiten der Industriebranchen nur am Rande Beachtung finden und dass lediglich Layout-Neuplanungen Gegenstand der Betrachtungen sind.

Im Verlauf der Layout-Planung wird dann auf zwei grundlegend andersartige Neuplanungssituationen eingegangen, für welche die erforderlichen Planungsarbeiten erläutert werden, ohne aber näher auf die vielen möglichen, auch branchenmässig bedingten, Variationen der einzelnen Fälle einzugehen. Bei den zwei ins Auge gefassten Planungssituationen handelt es sich um:

- (1) Die Betriebsneuplanung von Grund auf
- (2) Die Betriebsneuplanung bei vorhandenen Gebäuden

Ergänzend sei festgestellt, dass es sich um Neuplanungen für ganze Betriebe handelt, nicht auch um Neuplanungen für einzelne, zusätzliche Betriebsbereiche (Betriebserweiterungen).

Damit ist der Untersuchungsbereich dieser Arbeit abgegrenzt.

1) Die Vorgabe einzelner Daten, besonders die Vorgabe des Fertigungsverfahrens ist nicht unproblematisch, weil dadurch der Planungsablauf in bestimmter Weise festgelegt wird. Vgl. dazu die Ausführungen unter IV C 1.

II. Layout-Einflussfaktoren

Die folgende Aufzählung der Einflussfaktoren erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Sie dient nur dem Zweck, eine ungefähre Vorstellung von der Vielfalt der Faktoren zu vermitteln.

Insgesamt wird von sechs Haupteinflussgrössen ausgegangen. Das sind das Produktprogramm, das Fertigungsverfahren, der Materialfluss, die innerbetrieblichen Dienstleistungsstellen, das Betriebsgebäude und das Betriebsgrundstück. Diese Faktoren werden noch in Spezialfaktoren aufgliedert, so dass weit mehr als sechs Einflussgrössen Berücksichtigung finden.

Ein Problem der folgenden Darstellung liegt - abgesehen von der erwähnten Unvollständigkeit - in der geringen Aussagefähigkeit der Faktoren und der bei einigen von ihnen fehlenden Allgemeingültigkeit.¹⁾ Ein weiteres Problem besteht in der gegenseitigen Beeinflussung der Einflussfaktoren: Jeder der Faktoren kann jeden anderen beeinflussen und dadurch auf das Layout einwirken. Das ist jedoch nur möglich, solange die beeinflussbaren Grössen nicht schon vorher als Daten fest vorgegeben sind.²⁾ Um die Untersuchung der Einflussfaktoren nicht allzu sehr zu komplizieren wird daher vorausgesetzt, dass die Faktoren in einer ganz bestimmten Reihenfolge zu Daten bestimmt werden. Die Festlegung der Daten erfolgt in der Reihenfolge: Produktprogramm, Fertigungsprogramm, Materialfluss, innerbetriebliche Dienstleistungsstellen, Betriebsgebäude und Betriebsgrundstück.

In einigen Fällen erweist es sich jedoch als unerlässlich, auch darauf einzugehen, dass in Wirklichkeit die Daten oft in einer anderen Reihenfolge und mitunter sogar gleichzeitig fixiert werden. Soweit die genannte Reihenfolge aber als gültig angenommen wird, ist auf die Vereinfachung in der Betrachtung der Einflussfaktoren hinzuweisen. Mit dieser Unterstellung bleiben nämlich an sich durchaus denk-

1) Diese beiden Punkte werden später im Rahmen einer allgemeinen Kritik des Layout näher behandelt. Vgl. IV B 1. und 2.

2) Unter "Daten" werden Einflussgrössen verstanden, die nicht mehr ihrerseits Gegenstand von Beeinflussungen sein können. Vgl. Hannig (Daten) S. 12

bare Einwirkungen der später festgelegten auf die früher fixierten Faktoren und auch die gegenseitigen Beeinflussungen ausser acht.

A. Das Produktprogramm

Mit der Bestimmung des Produktprogramms fällt die Entscheidung über die Art und Anzahl der in einem bestimmten - in der Regel recht langen - Zeitraum herzustellenden Erzeugnisse. Die Layout-Einwirkungen des Produktprogramms resultieren insbesondere aus der Beeinflussung, die es auf andere Faktoren ausübt.

1. Die Produktart

Unmittelbar einleuchtend wird der Einfluss der Produktart auf das Layout, wenn man sich vergegenwärtigt, welche unterschiedlichen Produktionsanlagen- und Abläufe die Herstellung etwa von Lokomotiven, Autos, feinen optischen Instrumenten oder chemischen Artikeln erfordert. Die Fertigungsverfahren, die ihren Ausdruck finden in Arbeitsgangfolgen, in Bewegungsfolgen und Produktionsmaschinen werden grundlegend voneinander abweichen.

Darüber hinaus können z. B. Grösse und Gewicht des Produktes bzw. der Produktteile spezielle Transportanlagen oder eine besondere Konstruktion des Betriebsgebäudes erforderlich machen.¹⁾

Auch eine ganze Reihe weiterer Eigenschaften kann - über die Einwirkung auf andere Faktoren - Layout-beeinflussend wirken. Dabei ist an Erzeugnisse gedacht, die bei Lagerung, Bearbeitung, oder Transport Schutzeinrichtungen gegen Hitze, Kälte, Feuchtigkeit, Staub, Erschütterung etc. erfordern.²⁾ Weiterhin dürfen auch Einflüsse nicht übersehen dürfen, die sich aus dem physikalischen Zustand des Produktes ergeben.³⁾ Je nach dem ob es flüssig, gas-

1) Vgl. Schmidt (Standort) S. 41 f.

2) Vgl. Muther (Layout) S. 32 f.

3) Vgl. Ebenda

förmig oder fest, ob es hart oder weich, starr oder elastisch ist oder seinen Zustand im Fertigungsprozess verändert, müssen besondere Vorkehrungen zu seiner Behandlung getroffen werden.

2. Die Produktmenge

Neben und in Verbindung mit der Produktart ist die Produktmenge Layout-beeinflussend. Dabei ist nicht nur die Zahl der in einem bestimmten Zeitraum herzustellenden Erzeugnisse entscheidend, sondern auch, ob sie hintereinander oder mit zeitlichen Unterbrechungen erstellt werden.

Die in kontinuierlicher Wiederholung gefertigten Erzeugnisse bilden eine Serie bzw. ein Los. Die Losgrösse ist mit dafür verantwortlich ob Strassen- oder Werkstattfertigung eingeführt wird. Bei grossen Losen besteht die Möglichkeit zur Einrichtung von Produktionsstrassen. Eine starke Produktdifferenzierung muss dem nicht entgegenstehen, wenn von den einzelnen Produktarten grosse Mengen herzustellen sind.

Obwohl keine zwingenden Verbindungen bestehen, lassen sich doch hinsichtlich der Beziehungen zwischen Losgrösse und Produktdifferenzierung einige typische Zusammenhänge beobachten. Typisch für Einerzeugnisprogramme oder Mehrerzeugnisprogramme mit nur wenigen Produktarten ist das Vorliegen hoher Serienzahlen und die Tendenz zur Strassenfertigung. Besteht das Produktprogramm dagegen aus vielen unterschiedlichen Erzeugnisarten, so sind oft nur kleine Lose möglich, und die flexiblere Werkstattfertigung wird vorgezogen.

Ausser auf die Fertigungsverfahren wirkt sich die Produktmenge u. a. noch auf den Materialtransport, auf die Materiallagerung sowie die Grundstücks- und Gebäudegrössen aus. Denn bei einer grossen Menge sind andere Transporteinrichtungen und mehr Platz für Lagerung und Fertigung nötig als bei einer kleinen. Sogar die Stockwerkszahl von Gebäuden kann beeinflusst werden, falls kein Grundstück in beliebiger Grösse zur Verfügung steht.

B. Das Fertigungsverfahren

Die Fertigungsverfahren können in realtechnische, arbeitstechnische und organisationstechnische Verfahren eingeteilt werden.¹⁾ Für diese Untersuchung ist namentlich die Unterscheidung in realtechnische und organisationstechnische Verfahren bedeutsam. Die sich unter arbeitstechnischem Aspekt ergebenden Layout-Folgen werden in Verbindung mit den organisationstechnischen Verfahren erörtert.

1. Das realtechnische Verfahren

Aus realtechnischer Sicht können die Verfahren in physikalische, chemische und biologische Verfahren gegliedert werden.²⁾ Die folgenden Betrachtungen haben vorwiegend die physikalischen Verfahren zum Gegenstand. Darunter fallen z. B. die Techniken auf mechanischer, elektromagnetischer oder thermischer Basis.³⁾

Die Layout-Auswirkungen verschiedener physikalischer Verfahren sollen anhand der in Zusammenhang mit ihrer Bestimmung gefallenen Entscheidungen über die Produkt-Teilezahl, über die Arbeitsgangfolgen, über die Bewegungsfolgen sowie über die Produktionsmaschinen beleuchtet werden.⁴⁾

a) Die Teilezahl

Die Zahl der Teile, aus denen sich ein Produkt zusammensetzt, wird durch die Überlegungen der Fertigungsingenieure (Konstrukteure) bestimmt. Sie entscheiden darüber, ob ein Erzeugnis aus

1) Vgl. Kosiol (Aktionszentrum) S. 150. Kosiol nennt als vierten Typ noch die vergenztechnischen Verfahren.

2) Vgl. Hennig (Betriebswirtschaftslehre) S. 9

3) Vgl. Ebenda

4) Hinsichtlich dieser Faktoren hätten bei Einbeziehung auch der anderen beiden Verfahrenstypen einige Modifikationen vorgenommen werden müssen. Beispielsweise wären bei chemischen Verfahren statt der Teilezahl und der Arbeitsgangfolgen die Herstellungsrezepte und der Ablauf chemischer Prozesse zu beachten gewesen.

vielen kleinen oder wenigen aber grösseren Teilen bestehen soll. Ausserdem legen sie fest, welche Teile selbst gefertigt und welche Teile von anderen Betrieben bezogen werden sollen. Beide Entscheidungen sind für das Layout von grosser Wichtigkeit.

Setzt sich ein Produkt aus vielen kleinen Einzelteilen zusammen, so können die Teile meist mit den allgemein gängigen Mehrzweckmaschinen hergestellt werden. Auf der anderen Seite sind aber zusätzliche Montage-Anlagen erforderlich, auf die bei Fertigung von Gross-teilen mit Spezialmaschinen verzichtet werden könnte. Das Layout besteht also entweder aus Mehrzweckmaschinen und einem grossen Montagebereich oder aus Spezialmaschinen und wenigen Montage-Einrichtungen.

Ebenso klar ersichtlich sind die Layout-Folgen des Entschlusses über den Kauf von Produktteilen: Für gekaufte Teile müssen keine Produktionsmittel bereitgestellt werden, so dass auch die Notwendigkeit ihrer Anordnung entfällt.

b) Die Arbeitsgangfolgen

Eine Arbeitsgangfolge ist die Festlegung und das zeitliche und örtliche Hinter-und Nebeneinander der zur Erzielung eines bestimmten Arbeitsergebnisses auszuführenden Arbeitsgänge.¹⁾

Als Arbeitsgang wird diejenige Arbeit bezeichnet, die im Rahmen eines Arbeitsablaufs jeweils von einem Arbeiter oder einer Arbeitergruppe zusammenhängend ausgeführt wird.²⁾

Die Arbeitsgangfolgen haben einen grundlegenden Einfluss auf das betriebliche Layout. Mit ihrer Bestimmung ist nicht selten ein wesentliches Kriterium des Layout- nämlich die Reihenfolge der Produktionsmittel - bereits fixiert. Das kann man sich am besten vorstellen, wenn einmal angenommen wird, ein Produkt lasse sich in nur einer Arbeitsgangfolge vollständig fertigstellen, Obwohl immer noch ein

1) Vgl. Refa (Arbeitsgestaltung, Bd. 1) S. 49. Dort wird jedoch eine Arbeitsgangfolge als Arbeitsablauf und ein Arbeitsgang als Arbeitsvorgang bezeichnet.

2) Vgl. Ebenda S. 50

grosser Freiheitsspielraum bei der Anordnung der Anlagen besteht,¹⁾ ist doch schon entschieden, welche Einrichtungen benachbart sein sollten und welche nicht.

Häufig weichen allerdings die Arbeitsgangfolgen zur Erstellung der verschiedenen Teile eines Erzeugnisses deutlich voneinander ab. Infolge der vielen ungleichen Gangfolgen ist nun nicht mehr unmittelbar ersichtlich, in welcher Reihenfolge die Anlagen anzuordnen sind. Um das herauszufinden bedarf es spezieller Verfahren, die unter Beachtung der Mengenverhältnisse zwischen den verschiedenen Produktteilen, die Bestimmung der zweckmässig nebeneinander liegenden Anlagen erlauben.²⁾

c) Die Bewegungsfolgen

Unter einer Bewegungsfolge wird der Zusammenhang der einzelnen Arbeitsbewegungen des Menschen bei der Erledigung eines Arbeitsganges oder einer Arbeitsgangfolge verstanden. Hervorzuheben ist, dass allein auf die Bewegungen des Menschen, nicht jedoch auch auf die Bewegungen des Materials, der Produktteile und der Produktionsmittel abgestellt wird.³⁾

Die Beeinflussung des Layout durch die Bewegungsfolgen zeigt sich vorwiegend bei der Arbeitsplatzgestaltung (beim Arbeitsplatz-Layout). Mit der Festlegung einer Bewegungsfolge bei einem Arbeitsgang fällt häufig zugleich eine wichtige Vorentscheidung über die Gestaltung des Arbeitsplatzes. Wenn nämlich ein Arbeitsgang in einzelne Bewegungsfolgen zerlegt worden ist und gemäss dieser Folge durchgeführt werden soll, dürfte damit auch schon eine Vorstellung über das Arbeitsplatz-Layout verbunden sein. Diese Vorstellung findet darin ihren Ausdruck, dass die Arbeitsplatzkomponenten also Arbeiter, Maschinen, Tische, Regale, Behälter etc. in einer ganz bestimmten Weise angeordnet sind.

1) Beispielsweise können die Produktionsmittel geradlinig, S-förmig oder U-förmig angeordnet werden. Vgl. Reed (Layout) S. 76

2) Vgl. dazu die Ausführungen unter III C 2. und 3.

3) Vgl. Schmidt (Standort) S. 162

d) Die Produktionsmaschinen

Der Einfluss der Produktionsmaschinen auf das Layout resultiert aus ihren Abmessungen (Länge, Breite, Höhe), ihrer Zahl, ihrem Gewicht sowie der Lage der Bedienungsseite.¹⁾ Weitere Einflüsse entstehen infolge von Besonderheiten, die sich beim Betrieb der Maschinen ergeben. Dazu gehört z.B. Rauch-, Abgas- oder Hitze-Entwicklung.

Länge, Breite und Höhe kennzeichnen den benötigten Raum in zwei- und dreidimensionaler Hinsicht. Der Flächenbedarf von Maschinen schwankt je nach ihrer Grösse zwischen ca. 15m² und 50m².²⁾

Die Höhe der Produktionsmaschinen ist ausschlaggebend für die Mindest-Raumhöhe. Falls an der Decke aber noch Hängeböden oder Transporteinrichtungen anzubringen sind, müssen die Räume entsprechend höher sein.

Der Einfluss des Maschinengewichtes tritt häufig beim Bau der Gebäude in Erscheinung, weil schwere Maschinen eine besonders grosse Bodentragfähigkeit benötigen.

Die Lage der Bedienungsseite findet direkt in der Zuordnung der Produktionsmaschinen Berücksichtigung. Die Konfrontation von Bedienungsseiten soll vermieden werden, um eine gegenseitige Behinderung der Arbeiter auszuschalten.

Bestimmte Maschinen, die Rauch, Hitze oder Abgase verursachen, machen die Installation von Entlüftungs- oder Kühlungsanlagen erforderlich. Andere Maschinen können dagegen starke Geräusche oder Erschütterungen erzeugen, so dass ihre Absonderung von den übrigen Anlagen erfolgen muss. In beiden Fällen sind demnach die Layout-Folgen beträchtlich.

1) Vgl. Muther (Layout) S. 47ff. und Moore (Layout) S. 379ff.

2) Vgl. Krippendoff Materialfluss) S. 36ff.

2. Das organisationstechnische Verfahren

Unter organisatorischem Aspekt können die Herstellungsverfahren in die bereits erwähnte Werkstatt- und Strassenfertigung unterteilt werden. In der Praxis gibt es jedoch noch viele Kombinationsmöglichkeiten der beiden Grundverfahren. Die Bedeutung der organisationstechnischen Verfahren ist darin zu sehen, dass sich aus ihrer Festlegung bereits die Grundstruktur des Layout ergibt.

a) Die Werkstattfertigung

Kennzeichnend für die Werkstattfertigung ist die Zusammenfassung verrichtungsgleicher Operationen (und der dazugehörigen Anlagen) für die verschiedenen Objekte (Produkte) des gesamten Produktprogramms.¹⁾ Beispielsweise werden alle Dreharbeiten in einer Dreherei zusammengefasst. Dementsprechend erfolgt eine Aufteilung des Fertigungsbereichs in Dreherei, Presserei, Fräserei, Schleiferei etc.²⁾ Ein derartiger Anordnungstyp wird als Werkstatt-Layout bezeichnet.

Im allgemeinen verbindet sich mit dem Begriff "Werkstatt" die Vorstellung eines gesonderten Raumes, in dem sich eine grössere Zahl funktionsgleicher Produktionsanlagen bzw. Arbeitsplätze befindet. Das muss jedoch keineswegs immer so sein. Es ist auch denkbar, dass in einer grossen Halle viele verschiedene Maschinen- entweder einzeln oder zu kleinen funktionsgleichen Gruppen zusammengefasst- untergebracht sind. Solange an den Maschinen verschiedene Objekte mit unterschiedlichen Arbeitsgangfolgen bearbeitet werden, soll auch in diesen Fällen von Werkstattfertigung gesprochen werden. Die einzelnen Arbeitsplätze oder die Arbeitsplatzgruppen kann man sich als "Mini-Werkstätten" vorstellen.

1) Vgl. Kosiol (Aktionszentrum) S. 156f.

2) In der Praxis wird dieses Ordnungsprinzip jedoch nicht immer ~~streng~~ eingehalten. Nicht selten finden sich in einer Werkstatt neben Maschinen gleichen Typs auch andersartige (Hilfs-) Maschinen, wodurch eine Beschleunigung der Arbeit ermöglicht werden soll. Vgl. dazu Mellerowicz (Industrie, Bd. 2) S. 127f.

b) Die Strassenfertigung

Im Gegensatz zur Werkstattfertigung verfolgt das Prinzip der Strassenfertigung die Zusammenfassung aller Verrichtungen an bestimmten Objekten.¹⁾ Entscheidend für das Vorliegen der Strassenfertigung ist die Tatsache, dass die Anordnung der Anlagen entsprechend der Arbeitsgangfolge für ein bestimmtes Produkt erfolgt. Auf diese Weise ergibt sich ein Strassen-Layout.

(1) Hinsichtlich der Objektfolge sind Simultan- und Sukzessivfertigung auseinanderzuhalten. Bei der Simultanfertigung unterscheiden sich die Arbeitsgangfolgen der einzelnen Produkte bzw. Produktteile so sehr, dass für jedes Produkt eine gesonderte Strasse erstellt werden muss. Bei der Sukzessivfertigung können dagegen mehrere Objekte nacheinander auf der gleichen Strasse bearbeitet werden. Das erfordert im allgemeinen kleinere Umstellungen der Strasse.

(2) Weiterhin können die Fertigungsverfahren danach getrennt werden, ob für die Verrichtungen eine zeitliche Regelung vorliegt oder nicht.²⁾ Die Fertigung ohne Zeitzwang erfordert noch keine zeitliche Leistungsabstimmung. Infolgedessen kann es an einigen Arbeitsplätzen Leerzeiten an anderen jedoch- und namentlich dies ist Layout-relevant - Lagerbildungen geben. Durch die Einführung eines mehr oder weniger strengen Zeitzwanges wird die Strassenfertigung vervollkommen (Taktfertigung).³⁾ Erfordert die Erledigung einer Arbeit an einem Arbeitsplatz das Doppelte oder Dreifache der Taktzeit, so müssen die Produktionsanlagen dieser Station entsprechend vermehrt werden.

(3) Nach der Art des Zusammenwirkens von Mensch und technischem Mechanismus (arbeitstechnischer Gesichtspunkt) lassen sich verschiedene Mechanisierungsstufen der Fertigungsstrassen hervorheben.⁴⁾ Das stärkste Ausmass der Mechanisierung, das zunehmend an praktischer Bedeutung gewinnt, stellt die Automation dar. Die

1) Vgl. Kosiol (Aktionszentrum) S. 157

2) Vgl. Ebenda

3) Eine Vervollkommenung tritt ein, weil Wartezeiten oder Lagerbildungen vermindert bzw. vermieden werden.

4) Vgl. Kosiol (Aktionszentrum) S. 151ff.

Merkmale der Automation sind: Die Integration hochmechanisierter (automatisierter) Einzelaggregate, die hochgradige Mechanisierung des Transports sowie die Automatisierung des lenkenden Informationssystems.¹⁾

Eine Integration von Aggregaten dürfte ihren Ausdruck in der eben erörterten Strassenfertigung finden. Die Automatisierung der einzelnen Anlagen bewirkt die Übernahme menschlicher Aufgaben (wie Führung des Werkstückes oder Steuerung und Kontrolle des Arbeitsganges) durch den Mechanismus. Dadurch könnte sich eine Beeinflussung des Arbeitsplatz-Layout ergeben. Die Automatisierung des Lenkungssystems kann sogar die Ausgliederung ganzer Arbeitsplätze ermöglichen, nämlich insbesondere der Kontroll- und Revisionsstationen. Ebenso gravierend sind die Folgen der Mechanisierung des Transports: Verknüpfung der Maschinen durch starre Förderbänder, die auch Lagerfunktionen wahrnehmen; infolgedessen Wegfall der beweglichen Transportmittel und der Plätze für Zwischenlager.

c) Die Verfahrenskombinationen

Zunächst sind solche Kombinationen zu nennen, bei denen ein Produkt teils in Werkstätten, teils auf Strassen bearbeitet wird. Beispielsweise können die Produktteile in Werkstätten gefertigt und dann auf Fertigungsstrassen montiert werden. Bei den Montagestrassen sind die verschiedensten Formen denkbar, von denen drei (A, B, C) in Abb. 1 dargestellt sind.²⁾

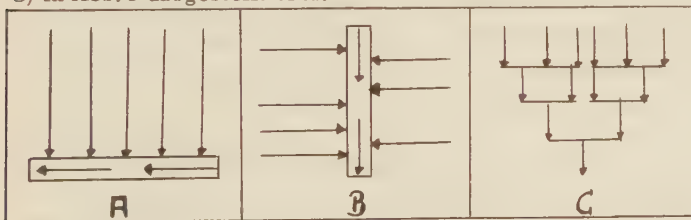


Abb. 1 Formen von Montagestrassen

1) Vgl. Kosiol (Aktionszentrum) S. 155

2) Vgl. dazu Schmidt (Standort) S. 69 und Reed (Layout) S. 77

Als Verfahrenskombination besonderer Art ist die Baustellenfertigung anzusehen. Bei ihr wird das zu erstellende Produkt nicht den Maschinen zugeführt, sondern diese müssen an die "Baustelle" herangebracht werden. Eine Baustellenfertigung kommt vor allem in Betracht, wenn das Produkt ein so grosses Gewicht hat bzw. im Fertigungsablauf bekommt, dass sein Transport unmöglich oder unzweckmässig ist (z. B. schwere Maschinen, Lokomotiven, Tanker).

Eine Ähnlichkeit mit der Strassenfertigung existiert insofern, als eine Zusammenfassung aller Verrichtungen an einem bestimmten Objekt erfolgt. Fehlen tut jedoch die Tatsache, dass das Erzeugnis eine der Arbeitsgangfolge entsprechende Anordnung von Produktionsanlagen durchläuft. Allerdings besteht die Möglichkeit des Vorbeiführens der Produktionsmaschinen an der Baustelle in der Reihenfolge der Arbeitsgänge.

Gemeinsamkeiten mit der Werkstattfertigung liegen vor, wenn die an der Baustelle benötigten Produktteile in Werkstätten des gleichen Betriebes hergestellt werden.

C. Der Materialfluss

Ein Materialfluss im Fertigungsbereich entsteht aufgrund der Weiterleitung der zu bearbeitenden Güter vom Einsatzlager über die einzelnen Bearbeitungsstationen zum Absatzlager. Werden entsprechend der allgemein vertretenen Auffassung die Arbeitsbewegungen des Materials (Bewegungen bei Be- oder Verarbeitung) von der Betrachtung ausgeschlossen, so lässt sich der Materialfluss in die zwei Phasen Transport und Lagerung aufgliedern.¹⁾

Man muss sich darüber im klaren sein, dass die Gestaltung von Transport und Lagerung aufs engste mit dem Layout verknüpft ist. Das eine kann nicht ohne das andere geregelt werden. Hier gilt aber der Materialfluss als Layout-Einflussfaktor, obwohl seine Festlegung auch als Layout-Entscheidung interpretiert werden kann.

1) Vgl. Heiner (Förderwesen) S. 273 und Ellérsieck (Materialflusskosten) S. 10, S. 26

1. Der Materialtransport

Die Layout-Einwirkungen des Materialtransports erfolgen aufgrund der Transportmittel und der Transportwege .

a) Die Transportmittel

Die Transportmittel können grob in drei Gruppen eingeteilt werden:¹⁾

- (1) Stetigförderer (Förderketten, Förderbänder, Rollenbahnen etc.)
- (2) Hebevorrichtungen(Kräne, Aufzüge, Flaschenzüge etc.)
- (3) Förderwagen (Fahrzeuge aller Art wie Stapler, Elektrowagen, Handkarren)

Einflüsse der Transportmittel auf das Layout resultieren zunächst-ähnlich wie bei den Produktionsmaschinen- aus ihren Abmessungen, ihrem Gewicht, ihrer Zahl und den Besonderheiten bei ihrer Benutzung. So ergeben sich Rückwirkungen auf den Raumbedarf, auf die Gebäudekonstruktion oder die Anbringung von Zusatzeinrichtungen. Auch Einwirkungen auf die Transportwegbreite dürfen nicht übersehen werden.

Weitere Beeinflussungen erfolgen insbesondere aus der starren örtlichen Bindung einiger Transportmittel. Während Förderwagen wegen ihrer räumlichen Flexibilität nur einen relativ geringen Einfluss haben, erfordern Stetigförderer und Hebevorrichtungen oft eine weitgehende Anpassung des Layout. Ein Beispiel hierfür bietet ein Förderband. Wenn über seine Lage entschieden ist, müssen auch die Anlagen dementsprechend d. h. zu beiden Seiten des Bandes aufgestellt werden. Auch schwere Kräne und andere Hebevorrichtungen stellen oft den Bezugspunkt für die räumliche Fixierung der übrigen Produktionsmittel dar.

b) Die Transportwege

Besonders deutlich wird der enge Zusammenhang von Materialfluss und Layout bei der Bestimmung der Transportwege. Da man bei ihrer Festlegung bereits eine genaue Vorstellung von der Anordnung der Einrichtungen haben muss, sind Transportweg-Fixierung

1) Vgl. Muther (Layout) S.80

und Layout untrennbar miteinander verbunden, wenn nicht sogar gleichbedeutend.¹⁾ Eine Layout-Beeinflussung entsteht durch die Linienführung, die Breite und die Länge der Transportwege.

Die Wegeführung bewirkt eine gerad-, zickzack-, kreis- oder schlangenlinienförmige Zuordnung der Betriebseinrichtungen. Die Motive für die unterschiedlichen Linienführungen sind vielfältig. Sie können vom Fertigungsverfahren aber auch von erst später zu behandelnden Faktoren wie z. B. dem Betriebsgebäude bestimmt sein.

Die Transportwegbreite ist namentlich wegen des daraus folgenden mehr oder weniger grossen Raumbedarfs Layout-wirksam.²⁾ Breite Wege beanspruchen grosse Flächen des Fertigungsbereichs, was eine engere Aufstellung der Maschinen und den Verzicht auf Zwischenlager notwendig machen kann. Andererseits erlauben sie den Verkehr von Transportmitteln in beiden Richtungen (Gegenverkehr im Gegensatz zum Einbahnverkehr). Für enge Wege gelten die Aussagen mit umgekehrtem Vorzeichen.

Eine Beeinflussung des Layout durch die Transportweglänge lässt sich am einfachsten am Beispiel der Anordnung nur zweier Anlagen verdeutlichen. Wird vorausgesetzt, dass zwischen beiden eine geradlinige Verbindung besteht, so führt eine Verkürzung der Weglänge zu einem Zusammenrücken der Anlagen. Bei einem Layout, das aus mehreren Anlagen besteht, würde demnach eine generelle Streckenverkürzung eine zusammengeballte und eventuell wenig übersichtliche Anordnung zur Folge haben.

1) Die im Anschluss an die Transportwege erörterten Einflüsse der Materiallagerung, der Dienstleistungsstellen, des Betriebsgebäudes und des Betriebsgrundstücks sind daher nur dann möglich, wenn man unterstellt, dass diese Faktoren gleichzeitig mit den Transportwegen fixiert worden sind. Vgl. dazu die Ausführungen unter II D, E, F.

2) Im allgemeinen nehmen die Transportwege ca. 15%-20% der Werkstattfläche ein. Vgl. Krippendorff (Materialfluss) S. 37

Praktisch ist aber häufig nicht eine generelle Streckenverkürzung aktuell, sondern eine Verkürzung nur einiger Weglängen. Grosse Aufmerksamkeit verdient dabei der Punkt, dass dies oft auch schon durch das einfache Vertauschen der Standorte einiger Einheiten möglich ist, ohne dass das Layout-Gesamtbild einer Kontraktion unterworfen ist. Dieser Tatbestand bildet die Grundlage für die meisten der später behandelten Optimierungsverfahren.¹⁾

2. Die Materiallagerung

Einflüsse der Materiallagerung²⁾ auf das Layout entstehen infolge des benötigten Lagerraums und ferner aufgrund der Lagermethoden, der Massnahmen zur Sicherung der Lagergüter sowie der Lage der Lagerplätze.³⁾

Ebenso wie Produktionsmaschinen, Transportmittel und andere Anlagen verlangt die Lagerung des Materials ausreichenden Raum. Dessen Form und Grösse wird aber- ausser von der Lagermenge- von der Lagermethode und der Art der Sicherungsmassnahmen bestimmt.

Die Wahl der Lagermethode umfasst die Entscheidung über die Höhe des Lagerraums, über die Form und Grösse der Lagerfläche, über die Sortierung der Lagergüter sowie die Art der einzusetzenden Lagereinrichtungen.⁴⁾

Eine gute Ausnutzung der Raumhöhe ist oft nur bei Beschaffung geeigneter Lagereinrichtungen möglich. Dazu gehören Paletten, Container, Gestelle, Regale und die verschiedensten Vorrichtungen, die ein Stapeln der Materialien erlauben. "Lagereinrichtungen" besonderer Art sind die Stetigförderer. Diese dienen nicht nur der Pufferung des Materials zwischen den Arbeitsgängen, sondern auch

1) Vgl. III C 2. und 3.

2) Da lediglich der Fertigungsbereich betrachtet wird, steht nachfolgend nur die Zwischenlagerung zur Diskussion.

3) Vgl. Muther (Layout) S.86

4) Vgl. Ebenda S. 89f.

dem Transport.¹⁾ Dabei kann der gesamte Transportweg zwischen den Stationen zur "Lagerstrecke" werden.

Zu einer Verminderung der Lagerfläche trägt oft deren Anpassung an die Artikelabmessungen bei, weil so keine nutzlosen Zwischenräume entstehen. Einen ähnlichen Effekt hat auch die Gliederung der Güter nach der Abtransportfolge.

Auswirkungen der Sicherungsmassnahmen auf den Lagerraum beruhen darauf, dass die Anbringung zusätzlicher Einrichtungen zum Schutz der Lagergüter gegen Feuer, Wasser, grosse Luftfeuchtigkeit, Staub, Rost etc. notwendig wird. Ausserdem können die Schutzvorschriften das Einhalten von Sicherheitsabständen oder das Freihalten von Zugängen zur Brandbekämpfung verlangen.

Neben der Grösse des Lagerraums ist die Lage der Lagerplätze Layout-relevant. Bei deren Anordnung sind zwei grundsätzliche Möglichkeiten zu nennen: Entweder die Güter werden direkt im Fertigungsstrom (z. B. zwischen den Maschinen einer Fertigungsstrasse) oder ausserhalb des Fertigungsstroms (z. B. neben der Fertigungsstrasse) gelagert. Im einen Fall müssen die Maschinen entsprechend weiter auseinander gestellt werden, im anderen Fall ist neben ihnen für genügend Platz zu sorgen.

D. Die innerbetrieblichen Dienstleistungsstellen

Der Begriff der Dienstleistungsstelle beinhaltet alle betrieblichen Abteilungen, deren Leistung nicht unmittelbar auf Fertigung, Lagerung oder Transport gerichtet ist, sondern ihnen nur mittelbar dient und somit Hilfscharakter hat. Weiter muss klargestellt werden, dass es nicht um das Layout der Stellen geht, welche die Hilfsleistungen hervorbringen. Interessieren tut allein, wie sich ihr Vorhandensein auf das Layout des Fertigungsbereichs auswirkt.

Einflüsse der Dienstleistungsstellen ergeben sich besonders durch ihren Raumbedarf und ihre Lage innerhalb der Fertigung. Der Stand-

1) Vgl. Krippendorff (Materialfluss) S. 148

ort der Dienstleistungsstellen kann je nach ihrer Funktion direkt im Fertigungsablauf oder abgesondert davon liegen.

Die Belegschaft braucht Einrichtungen wie Garderoben, Waschanlagen, Toiletten, Unfallstationen, Telefonboxen, Rauchzimmer etc.¹⁾ Deren Anordnung sollte ausserhalb des Fertigungsstroms erfolgen, weil sie keine mit der Fertigung zusammenhängende Funktion innehaben. Die Eingliederung dieser Stellen in den Fertigungsbereich geschieht überhaupt nur, weil sie gesetzlich vorgeschrieben ist (Unfallstationen) oder um häufige Wege des Personals zu verkürzen (Toiletten).

Anders verhält es sich mit den Hilfsleistungsstellen für Material und Produkt (Kontroll- und Revisionsstationen). Bei ihnen ist umgekehrt gerade die Einordnung in den Fertigungsstrom sinnvoll, weil viele Produkte nach jeder Bearbeitung erst auf ihre Qualität hin zu überprüfen sind.

Dagegen empfiehlt sich für die der Wartung und Reparatur der Produktionsmaschinen dienenden Stellen aus dem gleichen Grund wie bei den Personalstellen eine Ausgliederung aus dem Fertigungsstrom. Das gilt in besonderem Masse auch für die Verwaltungsstellen.

E. Das Betriebsgebäude

Einflüsse des Betriebsgebäudes auf das Layout müssten eigentlich, entsprechend dem bis jetzt verfolgten Prinzip bei der Betrachtung der Einflussfaktoren, nicht möglich sein: Da die Faktoren voraussetzungsgemäss nacheinander zu Layout-Daten wurden und als solche nicht mehr ihrerseits beeinflussbar waren, können Einwirkungen des Gebäudes auf all diese Faktoren, deren Bestimmung das Layout schon weitgehend festlegt, nicht mehr eintreten.²⁾ Tatsäch-

1) Vgl. Apple (Layout) S. 127

2) Eine ähnliche Situation ist auch bei der Materiallagerung, den Dienstleistungsstellen und dem Betriebsgrundstück gegeben.

lich muss nach allgemein vertretener Auffassung das Betriebsgebäude - sofern es nicht schon von Anfang an besteht, sondern neu zu errichten ist - dem entwickelten Layout angepasst werden; es ist um das Layout "herumzubauen".¹⁾

Da jedoch in dieser Arbeit ausser der Betriebsneuplanung von Grund auf auch die Neuplanung bei bestehenden Gebäuden zur Debatte steht, ist es zweckmässig, auch die Einflüsse von existierenden Gebäuden auf das Layout zu untersuchen.

Folgende Gebäudeeigenschaften verdienen u. a. Beachtung: Anzahl der Geschosse, Gebäudeform, Lage der Fenster, Tragfähigkeit des Fussbodens, Deckenhöhe, Raumaufteilung und Abstände der Säulen.²⁾

Flachbauten erfordern die Anordnung der Anlagen auf einer Ebene. Das ist vorteilhaft, wenn das Produkt oder die Maschinen ungewöhnlich gross und schwer sind und einen besonders tragfähigen Untergrund benötigen. Auch die Durchführung der innerbetrieblichen Transporte wird durch die Flachbauweise begünstigt, weil auf spezielle Fördermittel wie Rutschen, Rolltreppen oder Aufzüge verzichtet werden kann. Nachteilig ist ein Flachbau dagegen, wenn bei einem Produktionsprozess die auf ein bestimmtes Niveau gebrachten Güter die einzelnen Erzeugungsstufen durch Schwerkraftnutzung durchlaufen könnten.³⁾

Mehrgeschossgebäude bedingen ein Layout, das mehrere Ebenen umfasst. Das kann zu einer Störung des Fertigungsablaufs führen, wenn fertigungstechnisch zusammenhängende Anlagen in verschiedenen Stockwerken untergebracht werden müssen. Dem steht aber als Vorteil die Möglichkeit zur besseren Schwerkraftnutzung gegenüber.

Auch die vielen unterschiedlichen Gebäudeformen üben auf die Anordnung der Anlagen einen erheblichen Einfluss aus. Dabei ist zunächst an quadratische und rechteckige Formen zu denken. Aber auch buchstabenförmige Bauten (U-, H-, L-Form) sowie Gebäude

1) Vgl. Schmidt (Standort) S. 98 und Mallick (Layout) S. 326

2) Vgl. Moore (Layout) S. 67ff. und Slatosch (Materialfluss) S. 7

3) Vgl. Heiner (Förderwesen) S. 118

in der sogenannten Kamm-, Doppelkamm- und Rost-Form (Abb. 2) kommen in Betracht.¹⁾

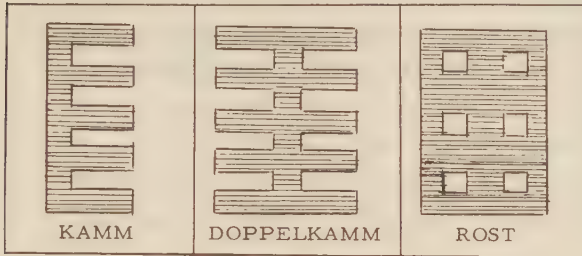


Abb. 2 Gebäudeformen

Die Lage der Fenster in einem Betrieb ist ebenfalls oft Layout-relevant.²⁾ Wenn die Durchführung einzelner Arbeitsgänge Tageslicht erfordert, müssen die entsprechenden Arbeitsplätze in der Nähe der Fenster eingerichtet werden. Andererseits können Fenster aber auch die Produktion behindern. Durch Sonneneinfall herbeigeführte Temperaturschwankungen sowie das Eindringen von Staub, Feuchtigkeit und Zugluft können das Personal oder die Qualität empfindlicher Erzeugnisse beeinträchtigen. In solchen Fällen sind die Anlagen in genügender Entfernung von den Fenstern bzw. in Räumen ohne Fenster aufzustellen.

Die Tragfähigkeit des Fussbodens kann bei der Standortbestimmung schwerer Maschinen eine Rolle spielen. Mitunter ist für deren Aufstellung nur das Erdgeschoss geeignet, weil die Bodenbelastbarkeit in den oberen Stockwerken nicht ausreicht.

Layout-Auswirkungen der Deckenhöhe zeigen sich besonders deutlich, wenn die Raumhöhe z. B. infolge der Dachkonstruktion (Giebel-dach) oder der Anbringung von Hängeböden nicht einheitlich ist. Dann müssen diejenigen Einrichtungen, die eine grosse Höhe benötigen (Kräne, grosse Maschinen), in dem Teil des Raumes mit der grösseren Deckenfreiheit installiert werden.

Die Raumaufteilung ist insbesondere unter dem Gesichtspunkt des

1) Vgl. Schmidt (Standort) S. 107

2) Vgl. Moore (Layout) S. 76f.

innerbetrieblichen Transports relevant. Um die Transportwege kurz zu halten, wird man Anlagen mit starken Arbeitsbeziehungen in einem Raum zusammenfassen.

Von nicht zu unterschätzender Bedeutung ist schliesslich die Verteilung der Säulen. Durch einen ungünstigen Säulenabstand kann die Aufstellung einer speziellen Maschinenart oder einer zusätzlichen Maschine unmöglich werden. Auf der anderen Seite haben Säulen einen positiven Effekt, wenn sie zur Befestigung von Maschinen, Hebevorrichtungen oder Hängeböden herangezogen werden können.¹⁾

F. Das Betriebsgrundstück

Für das Grundstück gelten die hinsichtlich des Betriebsgebäudes gemachten einführenden Aussagen in ähnlicher Weise. Auch vom Betriebsgrundstück können- sofern man an der bisherigen Darstellung der Einflussfaktoren festhält- keine Einflüsse auf das Layout ausgehen. Vielmehr wird die Wahl des Grundstücks vom Layout bestimmt.

Anders ist die Sachlage, wenn das Grundstück von Anfang an gegeben ist. Layout-wirksame Eigenschaften des Grundstücks sind u. a. : Grösse, Form, Bodenarten, Bodenniveau und Verkehrslage.²⁾ Diese Eigenschaften wirken sich im allgemeinen besonders auf die Gebäudewahl aus. Beispielsweise können Grösse und Form des Grundstücks dafür ausschlaggebend sein, ob ein Stockwerks- oder Flachbau errichtet wird und welche Form der Gebäudegrundriss erhält. Bodenart und Bodenniveau erfordern eventuell besondere Fundamente oder die Überbrückung von Höhenunterschieden durch Treppen, Rampen oder Aufzüge. Die Verkehrslage (Verlauf von Strassen, Gleisen, Kanälen ausserhalb des Grundstücks) kann darüber hinaus die Lage des Gebäudes auf dem Grundstück determinieren. Weitere Einflüsse, die speziell die Gebäudewahl berühren, ergeben

1) Vgl. Muther (Layout) S. 118

2) Vgl. Schmidt (Standort) S. 88f.

sich aus den gesetzlichen Vorschriften für die Bebauung von Grundstücken. Zu beachten sind z. B. die Bauvorschriften und Bauverordnungen, die ortspolizeilichen Verordnungen, die Unfallverhütungsvorschriften der Berufsgenossenschaften und die Bestimmungen der technischen Überwachungsvereine.¹⁾

1) Vgl. Schmidt (Standort) S. 89f.

III. Layout-Planung

Der Planungsablauf wird in fünf Schritte gegliedert. Ausgangspunkt ist die Analyse der Layout-Aufgabe. Dem folgt die Ermittlung der notwendigen Daten. Daran schliesst sich als dritter und vierter Schritt die Layout-Grobplanung sowie die Layout-Feinplanung an. Der letzte Schritt, die Installationsplanung, zielt bereits auf die Verwirklichung des Geplanten. Hier wird festgelegt, in welcher Weise die im Plan feststehende Anordnung in die Realität umzusetzen ist.

A. Die Analyse der Layout-Aufgabe

Zunächst ist es erforderlich, sich über die Art der gestellten Layout-Aufgabe klarzuwerden. Danach muss geprüft werden, wie sich die Aufgabenart auf den Planungsablauf auswirkt.

1. Die Aufgabenarten

In der einschlägigen Literatur gibt es viele verschiedene Aufzählungen von Aufgabenarten.¹⁾ Da in dieser Arbeit nur Neuplanungen ganzer Betriebe zur Debatte stehen, soll darauf aber nicht näher eingegangen werden.

Durch die Bezeichnung als Neuplanung von Grund auf oder als Neuplanung bei gegebenen Gebäuden sowie die innerhalb dieser Aufteilung denkbaren spezielleren Kennzeichnungen ist die Layout-Aufgabe jedoch nur unvollständig umrissen. Zu ihrer näheren Beschreibung sind noch das Ausmass der Datensetzung durch die betrieblichen Entscheidungsinstanzen sowie die Layout-Zielsetzungen heranzuziehen.²⁾

1) Vgl. z.B. Immer (Layout) S. 32f.; Muther (Layout) S. 8f.; Apple (Layout) S. 5f.

2) Hierbei handelt es sich um eine Hervorhebung der verschiedenen Aspekte, die bei der Festlegung der Aufgabenart durch die Betriebsleitung eine Rolle spielen. Die Bestimmung der Aufgabenart ist ja letztlich nichts anderes als ein spezieller Akt betrieblicher Datensetzung.

Unabhängig davon, ob bei einer Neuplanung die Gebäude bereits existieren oder nicht, kann die Datensetzung der Geschäftsleitung die Aufgabenart entscheidend spezifizieren bzw. modifizieren. Bei Neuplanungen von Grund auf kann die Geschäftsleitung beispielsweise von vornherein bestimmte Vorstellungen über das zu errichtende Gebäude entwickelt haben, so dass dieses, obwohl noch gar nicht existent, als Planungsbeschränkung wirkt. Auf der anderen Seite müssen vorhandene Gebäude nicht unbedingt einen begrenzenden Charakter haben, wenn dem Layout-Planer gestattet wird, auch Anordnungen zu entwickeln, die mehr oder weniger grosse Umbauten bedingen.

Ausser durch den Umfang der Datensetzung wird die Aufgabenart durch die Layout-Zielsetzung charakterisiert. Für den Layout-Planer stellt sich eine grundsätzlich andere Aufgabe, je nach dem ob von ihm ein vorwiegend dem Personal zusagendes, ein ästhetischen Grundsätzen genügendes oder- wie hier- ein an Kostengesichtspunkten orientiertes Layout verlangt wird.

2. Die Einflüsse der Layout-Aufgabe auf den Planungsablauf

Grundsätzlich lässt sich sagen, dass verschiedenartige Layout-Aufgaben auch voneinander abweichende Planungsabläufe erfordern. Allerdings können die Einflüsse der Aufgaben, wenn lediglich der oben grob skizzierte Ablauf zu Grunde gelegt wird, in der Regel nicht sichtbar gemacht werden.

Um die Einflüsse der Layout-Aufgabe auf den Planungsablauf in exakter Weise zu verdeutlichen, müsste zunächst ein Ablauf für eine spezielle Aufgabenart in detaillierter Weise entwickelt und dann bei anderen denkbaren Aufgabenarten auf Abweichungen hin untersucht werden. Wegen der Vielzahl von Aufgabenarten ist dieser Weg jedoch nicht gangbar. Statt dessen sollen nur für die zwei Aufgabenkategorien (Neuplanung von Grund auf bzw. Neuplanung bei vorhandenen Gebäuden) die unterschiedlichen Planungsarbeiten in allgemeiner Form geschildert werden.

Ein Schwerpunkt des Planungsablaufs liegt auf den im Rahmen der Grobplanung zu erörternden Verfahren zur Bildung des optimalen normierten Verteilungsdiagramms. Die Entwicklung des Verteilungsdiagramms ist aber für beide Aufgabenkategorien in prinzipiell der gleichen Weise durchzuführen, d. h. es können die gleichen Verfahren angewendet werden. Abweichungen infolge der Aufgabenart ergeben sich jedoch in anderen Planungsstadien. Das geschieht besonders in der Phase der Datenermittlung sowie im Verlauf der Grobplanung bei der Abstimmung des aus dem Verteilungsdiagramm abgeleiteten Raumdigramms (dort wird zusätzlich der Flächenbedarf der Einrichtungen berücksichtigt) mit den betrieblichen Gegebenheiten.

Die Datenermittlung wird bei einer Neuplanung von Grund auf dadurch erleichtert, dass bestimmte Daten noch gar nicht existieren. Anders als bei Neuplanungen mit vorhandenen Gebäuden liegen nämlich- vorausgesetzt, dass die Betriebsleitung nicht schon von vornherein darüber entschieden hat- noch keine Baupläne vor, die es zu beachten gilt.

Das Fehlen von Daten kann jedoch die Datenermittlung auch sehr erschweren, wenn es sich um Informationen handelt, die- wie z. B. das Fertigungsverfahren - für den Fortgang der Planung unerlässlich sind.

Auch die Abstimmung des Raumdigramms mit den betrieblichen Raumverhältnissen ist bei einer Neuplanung von Grund auf- unter dem gleichen Vorbehalt wie bei der Datenermittlung- unkomplizierter als bei der anderen Aufgabenart. Der Grund dafür liegt darin, dass eine weitgehende Anpassung des Gebäudes an das neue Layout erfolgen kann und nicht immer erst die Kosten für die Änderung der bestehenden Bauten in Erwägung zu ziehen sind.

B. Die Ermittlung der Planungsdaten

Während bei der Schilderung der Einflussfaktoren erörtert wurde , welche Faktoren bzw. Daten das Layout in welcher Weise beeinflussen können, soll jetzt untersucht werden, welche Unterlagen der

Layout-Planer heranziehen muss, um Aufschluss über die Planungsdaten zu gewinnen. Zuvor ist jedoch zu prüfen, wovon der Umfang (die Menge) der zu ermittelnden Daten abhängt.

1. Der Datenumfang

Der Hauptbestimmungsgrund für den Datenumfang ist in der Art der Layout-Aufgabe zu sehen. Tendenziell dürfte die Zahl der Daten bei Neuplanungen mit vorhandenen Gebäuden grösser als bei Planungen von Grund auf sein, weil Teile der Gebäude als unveränderlich vorgegeben sein können. Diese Beschränkungen bilden Daten der Layout-Planung.

Ausserdem wird der Datenumfang von der Grösse der Layout-Aufgabe beeinflusst. Bei einem Kleinbetrieb wird im allgemeinen auch die Datenmenge entsprechend gering sein. Es sind jedoch auch Ausnahmen möglich: Wenn ein Grossbetrieb nur ein einziges Massen-Erzeugnis auf einer Fertigungsstrasse produziert, ein kleinerer Betrieb dagegen ein stark differenziertes Programm in Werkstätten abzuwickeln hat, kann dort die Datenzahl grösser als im Grossbetrieb sein, weil mehr verschiedene Arbeitsgänge, Arbeitsgangfolgen, Bewegungsfolgen etc. zu erfassen sind.

2. Die Unterlagen für die Datenermittlung

Bei der Datenermittlung handelt es sich im wesentlichen um ein Sammeln von Unterlagen, die über Art und Umfang der Datensetzung Auskunft geben. Die meisten dieser Unterlagen kann sich der Layout-Planer von den dafür zuständigen Betriebsabteilungen beschaffen.¹⁾ Teilweise muss er sie sich jedoch auch selbst erarbeiten, wenn die betreffenden Stellen in ihren Planungen noch nicht weit genug fortgeschritten sind oder wenn die Erstellung bestimm-

1) Da ausschliesslich Neuplanungen zu Debatte stehen, handelt es sich hierbei um Abteilungen in einem bereits bestehenden Betrieb (Mutterbetrieb), der mit der Neuerrichtung eines Betriebes (Tochterbetrieb) beauftragt ist.

ter Unterlagen nicht in den Aufgabenbereich anderer Abteilungen fällt.

Als Unterlagen kommen in Betracht: Absatzpläne, Zeichnungen und Stücklisten, Organisations- und Arbeitsablaufpläne, Bedarfspläne, Anlagenkarteien sowie Grundstücks- und Baupläne.

a) Der Absatzplan

Aus dem Absatzplan geht hervor, welche und wieviele Produkte in einer bestimmten Periode verkauft werden sollen. In Verbindung mit den aus dem Arbeitsablaufplan ersichtlichen Fertigungszeiten dienen diese Angaben dem Layout-Planer häufig zu Ermittlung der notwendigen Maschinenzahl.¹⁾

Der Zeitraum, auf welchen sich die Absatzplanung bezieht, sollte möglichst lang sein. Da ein einmal erstelltes Layout häufig einen langfristigen Charakter hat, müssen auch die Anforderungen, die es erfüllen soll, in längerer Sicht (ca. 5-10 Jahre) feststehen. Es ist zweckmässig, schon bei der ersten Anordnung für eventuelle Anpassungen an Veränderungen in der Absatzlage Sorge zu tragen. Sonst kann es geschehen, dass bei Erweiterungen die zusätzlichen Anlagen dort aufgestellt werden, wo gerade noch Platz ist, und nicht wo sie dem Fertigungsablauf entsprechend stehen sollten.

Als Datenquelle kommt in der Regel der Vertrieb mit seiner Marktforschungsabteilung oder die Fertigungsvorbereitung in Betracht.

b) Die Zeichnungen und Stücklisten

(1) Zeichnungen und (2) Stücklisten werden im Konstruktionsbüro entwickelt und überprüft.

(1) Die Zeichnung ist die ins Grafische übertragene Darstellung der Formen und Masse des Produktes und seiner Einzelteile, ihrer Lage zueinander, ihrer Funktion und ihres konstruktiven Zusammenhangs.²⁾ Bei grossen und komplizierten Erzeugnissen ist es

1) Vgl. Reed (Layout) S. 45ff. und die eigenen Ausführungen unter III B 2d)

2) Vgl. Mellerowicz (Industrie, Bd. 2) S. 151

erforderlich, verschiedene Arten von Zeichnungen anzufertigen, die einzelne Konstruktionsgesichtspunkte hervorheben, andere dagegen vernachlässigen. So können unterschieden werden: Zusammenstellungszeichnungen, Gruppenzeichnungen, Montagezeichnungen, Einzelteilzeichnungen und Teilbearbeitungszeichnungen.¹⁾

Bei der Layout-Planung müssen nun nicht unbedingt alle der genannten Zeichnungen herangezogen werden. Vielmehr erweist es sich als zweckmässig, je nach persönlicher Bevorzugung oder dem Stadium der Aufgabenerfüllung die eine oder andere Zeichnung auszuwählen.

Die Zusammenstellungszeichnung enthält die Darstellung des gesamten Produktes unter weitgehendem Verzicht auf die Einzelheiten. Der Layout-Planer bekommt so einen ersten Überblick über Art und Zahl der Einzelteile sowie über die Zusammensetzung des gesamten Produktes.

Bei komplizierten Erzeugnissen kann die Zusammenstellungszeichnung in Gruppenzeichnungen aufgelöst werden. Hierbei handelt es sich um die Darstellung grösserer Teilkomplexe und ihrer Zusammensetzung aus Untergruppen und Einzelteilen, die mit genauen Massangaben versehen sind.

Das Kennzeichen der Montagezeichnung liegt darin, dass in ihr alle für den Montageprozess unwesentlichen Einzelheiten fortgelassen sind. Für die Layout-Planung resultieren daraus wichtige Hinweise über die Folge der Montagearbeitsgänge.

Die Einzelteilzeichnung betrifft alle Daten, die für die Herstellung eines Einzelteils benötigt werden. Dadurch lassen sich u. a. Rückschlüsse auf die Arbeitsgänge und Arbeitsgangfolgen ziehen.

Sind an einem Einzelteil viele verschiedene Arbeitsgänge an verschiedenen Arbeitsplätzen und Maschinen zu verrichten, so werden von den Einzelteilzeichnungen häufig noch Teilbearbeitungszeichnungen abgeleitet. Diese enthalten nur diejenigen Masse und Bear-

1) Vgl. dazu Mellerowicz (Industrie, Bd. 2) S. 154ff.

beitungsangaben, die bei einem einzelnen Arbeitsgang anfallen. Daher können sie z.B. für das Arbeitsplatz-Layout Bedeutung haben.

(2) Die Stückliste ist die Beschreibung und tabellarische Darstellung des Produktes und seiner Einzelteile.¹⁾ Sie stellt die in der Zeichnung enthaltenen Angaben in tabellarischer Form dar.

Inwieweit Stücklisten anstelle von Zeichnungen oder zu ihrer Ergänzung als Datenunterlagen anzuwenden sind, steht im Ermessen des Layout-Planers. Oft dürfte aber gerade die kombinierte Verwendung von beiden die beste Übersicht gewähren.

Wie bei den Zeichnungen gibt es auch bei den Stücklisten verschiedene Arten.²⁾ Als Unterlagen für die Layout-Planung dürften im allgemeinen die Gesamt-, Baugruppen- und Materialstücklisten ausreichen.

c) Der Organisationsplan und die Arbeitsablaufpläne

Unter einem Organisationsplan werden die Aufzeichnungen über das festgelegte organisationstechnische Fertigungsverfahren bzw. die anzuwendenden organisationstechnischer Verfahrenskombinationen verstanden. Der Plan gliedert die Produkte danach, ob sie in Werkstätten oder auf Fertigungsstrassen bearbeitet werden. Damit ist bereits eine wichtige "Layout-Vorentscheidung" gefallen, weil nun die Grundstruktur des Layout (Werkstatt oder Strasse) feststeht. Offen bleibt aber die Lage der Strassen und Werkstätten zueinander sowie die Anordnung der einzelnen Anlagen innerhalb von Strassen und Werkstätten und die Arbeitsplatzgestaltung.

Die Arbeitsablaufpläne werden im Rahmen der Fertigungsplanung festgelegt und dienen als Belege für die Arbeitsgänge und ihre Reihenfolge, für die Bewegungsfolgen sowie für den Materialfluss.

Unterlagen, die über die Arbeitsgänge und ihre Reihenfolge und damit auch über den Materialfluss Klarheit verschaffen, werden

1) Vgl. Mellerowicz (Industrie, Bd. 2) S. 165

2) Vgl. Ebenda S. 169ff.

als Arbeitsgangfolgepläne bezeichnet.¹⁾ Sie können in Tabellenform oder als Ablaufzeichnungen (Diagramme) erscheinen und den Arbeitsablauf in mehr oder weniger detaillierter Weise darstellen. Die Tabellen sind besonders bei isolierter Betrachtung einzelner Teile geeignet (Abb. 3, Abb. 4). Zur kurzen Beschreibung des Arbeitsablaufs werden vier Symbole eingeführt, die folgende Bedeutung haben :

○	Durchführung eines Arbeitsganges (A-1, A-2, A-3 etc.)
▷	Transport
□	Kontrolle
▽	Lagerung

Arbeitsablaufplan	Gegenstand : Teil I	Zeichnungs-Nr.	
Betrieb	Bearbeiter	Losgrösse	
Arbgg. lfd. Nr.	Beschreibung	Maschine	Stückzeit (Min.)
1	A-1 (Drehen)	A	1, 1
2	A-2 (Fräsen)	B	1, 9
3	A-3 (Bohren)	C	0, 5
4	A-4 (Schleifen)	D	1, 0
5	A-5 (Polieren)	E	1, 3

Abb. 3 Arbeitsablauftabelle 1

In der Tabelle 1 ist nur die Folge der Arbeitsgänge angeführt, ohne näher darauf einzugehen, was sich zwischen den Arbeitsgängen (Kontrolle, Lagerung, Transport) abspielt. Das wird in der Ablaftabelle 2 erläutert (Abb. 4). Eine Angabe der Transportweglängen kann in der Tabelle 2 nicht erfolgen, weil die Transportwege ja erst bei der Anordnung der Anlagen fixiert werden. Bei den Kontroll- und Lagerzeiten handelt es sich um Durchschnittswerte (Gesamtzeit/Losgrösse).

1) In der deutschen Literatur ist auch von Arbeitsplänen oder Funktionsdiagrammen die Rede. Vgl. Mellerowicz (Industrie, Bd. 2) S. 227 und Schmidt (Standort) S. 153
In der amerikanischen Literatur wird bei solchen Plänen von einer operation process-chart oder einer flow process-chart gesprochen. Vgl. z. B. Apple (Layout) S. 154ff.

Arbeitsablaufplan		Gegenstand: Teil I		Zeichnungs-Nr.	
Betrieb		Bearbeiter		Losgrösse	
lfd. Nr.	Beschreibung	Maschine/Anlage	Stückzeit (Min.)	Transportweg (m)	
1	Zu A-1	Wagen			
2	A-1 (Drehen)	A	1, 1		
3	Zu A-2	Stapler			
4	A-2 (Fräsen)	B	1, 9		
5	Zur Kontrolle	Wagen			
6	Kontrolle	Tisch	0, 4		
7	Lagerung	Tisch	5, 3		
8	Zu A-3	Wagen			
9	A-3 (Bohren)	C	0, 5		
10	Zu ...				

Abb. 4 Arbeitsablauftabelle 2

Ablaufdiagramme empfehlen sich, wenn nicht nur die Arbeitsgangfolge für ein Einzelteil, sondern der Zusammenhang der Folgen für ein aus mehreren Einzelteilen bestehendes Produkt zu veranschaulichen ist (Abb. 5)

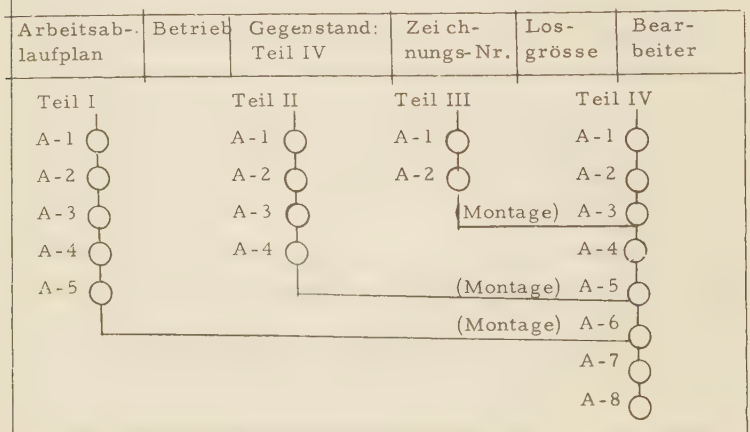


Abb. 5 Arbeitsablauf-Diagramm (Materialflussbild)

Ablaufdiagramme können noch verfeinert werden, indem man auch die Vorgänge zwischen den Arbeitsgängen berücksichtigt.

Ablaufpläne besonderer Art sind die Bewegungsablaufbögen, die das Resultat eines systematischen Arbeitsstudiums sind. Sie werden im allgemeinen für einen einzelnen Arbeitsgang erstellt und beschränken sich auf die Beobachtung der menschlichen Arbeitsbewegungen (Abb. 6). ¹⁾

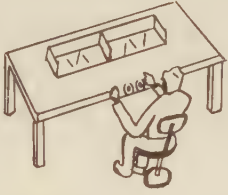
Arbeitsab- laufplan	Betrieb	Arbeitsgang: Entgraten von Messingbuchsen	Losgrösse	Bearbeiter
SKIZZE: 				
LINKE HAND			RECHTE HAND	
Bewegung zum Behälter	●	●	Bewegung zum Behälter	
Rohling ergreifen	●	●	Rohling ergreifen	
Rohling zur Spannvor- richtung bewegen	●	●	Rohling zur Spannvor- richtung bewegen	
in Spannvorrichtung einsetzen	●	●	in Spannvorrichtung einsetzen	
1. Entgratungsbew. aussen(Linksbewegg.)	●	●	1. Entgratungsbew. aussen(Rchtsbewegg.)	
2. Entgratungsbew. aussen(Rchtsbewegg.)	●	●	2. Entgratungsbew. aussen(Linksbewegg.)	
3. Entgratungsbew. innen(Linksbewegg.)	●	●	3. Entgratungsbew. innen(Rchtsbewegg.)	
4. Entgratungsbew. innen(Rchtsbewegg.)	●	●	4. Entgratungsbew. innen(Linksbewegg.)	

Abb. 6 Bewegungsablaufbogen

Aus Abb. 6 geht deutlich hervor, dass der Bewegungsablauf die Grundlage für das Arbeitsplatz-Layout bildet.

1) Zur Abb. 6 vgl. Kaminsky und Schmidtke (Bewegungsstudien) S. 76

d) Der Bedarfsplan

Der Bedarfsplan gibt Aufschluss über Art und Anzahl von Arbeitskräften, Betriebseinrichtungen (Maschinen, Transportmittel, Lagereinrichtungen, Werkzeuge etc.) und benötigtem Material.¹⁾ Hier wird unterstellt, dass er darüber hinaus noch ausweist, welche und wieviele innerbetriebliche Dienstleistungsstellen erforderlich sein werden. Der Layout-Planer kann auch aufgrund dieser Daten - sobald er den Platzbedarf der einzelnen Einrichtungen kennt -²⁾ die räumliche Ausdehnung des zukünftigen Layout bestimmen.

Wenn zum Zeitpunkt der Datenermittlung der Bedarfsplan von der Fertigungsplanung schon vollendet ist, braucht man die darin enthaltenen Angaben nur zu übernehmen. Mitunter muss der Layout-Planer aber selber den Bedarf ermitteln, weil die Fertigungsplanung noch nicht so weit fortgeschritten ist. Das soll am Beispiel der Berechnung der Maschinenzahl erläutert werden (Abb. 7):³⁾

Arbgg. Nr.	Masch.	Erford. Output	Erwart. Ausschuss %	Tats. Input	Theor. Input b. 90% Auslsg.	Masch. Kap./Std.	Theor. Zahl d. Masch.
7	G	67,0	0	67,0	74,5	143,0	0,52
6	F	67,0	0	67,0	74,5	55,4	1,34
5	E	67,0	2	68,3	76,0	65,4	1,18
4	D	68,3	3	70,5	78,3	238,0	0,33
3	C	70,5	2	72,0	80,0	83,4	0,96
2	B	72,0	5	75,8	84,2	23,8	3,54
1	A	75,8	4	78,9	87,7	60,0	1,46

Abb. 7 Berechnung der Maschinenzahl

Von einem Produkt sollen pro Jahr 134.000 Stck. hergestellt werden. Das Produkt besteht aus verschiedenen Einzelteilen, zu deren

1) Vgl. Mellerowicz (Industrie, Bd. 2) S. 238 ff.

2) Zur Ermittlung des Platzbedarfs pro Arbeitsplatz vgl. III B 2e)

3) Vgl. dazu Apple (Layout) S. 41 ff.

Fertigung jeweils mehrere Arbeitsgänge notwendig sind. Für jedes Teil ist die Berechnung der Maschinenzahl vorzunehmen. Hier geschieht das für das Einzelteil a, von dem immer ein Stück in das Endprodukt eingeht. Wenn 2.000 Arbeitsstunden im Jahr zur Verfügung stehen, müssen in einer Stunde $134.000 : 2.000 = 67$ Stück gefertigt werden. Wird das Produktteil in sieben Arbeitsgängen auf sieben verschiedenen Maschinen erstellt und steht die Ausbringungskapazität pro Stunde bei den Maschinen fest,¹⁾ so kann die theoretische Zahl der Maschinen errechnet werden.

Um nach sieben Arbeitsgängen von dem Produktteil a die gewünschte Menge von 67 Stück pro Stunde zu erhalten, muss man - ausgehend vom siebenten Arbeitsgang - der Ausbringungsmenge jeweils den erwarteten Ausschusssatz zuschlagen. Auf diese Weise erhält man die Einsatzmenge für den betreffenden Arbeitsgang. Zurückgerechnet bis zum ersten Arbeitsgang ergibt sich so die Einsatzmenge von 78,9 Stück.

Die fiktive Erhöhung der tatsächlichen zu theoretischen Einsatzmengen erfolgt durch Division des tatsächlichen Input durch 0,9. Bei Division der Planungsmenge durch die Maschinenausbringung pro Stunde ergibt sich die theoretische Zahl der Maschinen (Abb.7).

Dass diese Zahl nur ein ungefährender Anhaltspunkt sein kann, folgt aus drei Gründen:

- (1) Der erwartete Ausschusssatz braucht nicht zu stimmen.
- (2) Die Rechenoperation auf der Basis von Bruchteilen eines Stückes sind fragwürdig, weil im allgemeinen nur ganze Stückzahlen ein- oder ausgebracht werden können.
- (3) Der theoretische Maschinenbedarf stellt keine ganze Zahl dar.

e) Die Anlagenkartei

Falls zum Zeitpunkt der Layout-Planung schon eine Anlagenkartei in der Entstehung ist, stellt sie eine wichtige Datenquelle dar. In

1) Die Stückzahl pro Stunde ergibt sich bei der Division
1 Stunde : Fertigungszeit pro Stück. Diese Rechenoperationen werden hier aber nicht extra vorgeführt.

der Anlagenkartei, die innerhalb der Anlagenbuchhaltung erstellt wird, sind für jedes Anlagegut Anlagekarten geführt, die alle wichtigen Angaben über das Gut enthalten.¹⁾ Den Layout-Planer interessieren besonders die Abmessungen, das Gewicht, die Lage der Bedienungsseite, das Zubehör oder eventuelle Geräusch-, Erschütterungs- oder Abgasentwicklungen des Anlagegutes.

Die Abmessungen der Einrichtungen dienen mitunter zur Ermittlung eines weiteren Datums, nämlich des Flächenbedarfs pro Arbeitsplatz. Durch Multiplikation der Zahl der Arbeitsplätze²⁾ mit den festgestellten Einzelwerten wird später die flächenmässige Ausdehnung des gesamten Layout kalkuliert.

Nachfolgend soll näher auf die Bestimmung des Flächenbedarfs pro Arbeitsplatz eingegangen werden.³⁾ Dabei sind nicht nur die Anlagen am Arbeitsplatz (Maschine, Werkzeugschrank, Tische, Regale, Werkzeuge), sondern auch der Arbeiter selbst, lagerndes Material sowie die durchschnittlichen Zusatzerfordernisse infolge von Säulen und von notwendigen Zugangswegen für Transportmittel sowie für Bedienungs- und Reparaturpersonal zu berücksichtigen.⁴⁾ Als Handlungsraum für den Arbeiter ist entlang der Bedienungsseite einer Anlage ein Abstand von ca. 1 m freizuhalten. Der Platzbedarf für die Zwischenlager an den Arbeitsplätzen lässt sich durch Heranziehung der Materialdimensionen, der Lagermethoden und der voraussichtlichen Lagermengen beurteilen.

Der notwendige zusätzliche Raum für Transportmittel etc. kann schliesslich durch einen prozentualen Zuschlag (Erfahrungssatz) auf den sonstigen Bedarf kalkuliert werden. Den Flächenbedarf pro Arbeitsplatz erhält man durch Addition der einzelnen Bedarfswerte.

1) Vgl. Kosiol (Buchhaltung) S. 190

2) Sofern an jedem Arbeitsplatz eine Maschine steht, ist die Maschinenzahl mit der Zahl der Arbeitsplätze identisch.

3) Auch der Platzbedarf für die Dienstleistungsstellen und das Einsatz- und Absatzlager wäre jetzt zu bestimmen. Die Schilderung dieser Operation soll jedoch unterbleiben.

4) Vgl. Krippendorff (Materialfluss) S. 36 ff.

f) Der Grundstücks- und Bauplan

Sofern das Grundstück als Mindest-Datum vorgegeben ist, müssen bei der Datenermittlung regelmässig die Grundstückspläne als Unterlagen herangezogen werden. Dagegen kommen Baupläne nur in Betracht, wenn auch noch Gebäude existieren oder wenn die Geschäftsleitung über das zukünftig zu errichtende Gebäude bereits feste Vorstellungen entwickelt hat. Bei vorhandenen Plänen muss darüber hinaus abgestimmt werden, welche Änderungen vorgenommen werden dürfen bzw. müssen und welche nicht. Sollten die Bau- und Grundstückspläne unvollständig oder veraltet sein, so ist es eine weitere Aufgabe des Layout-Planers, sie durch Betriebsbegehungen auf den neuesten Stand zu bringen.

Der Grundstücksplan gibt Auskunft über Form, Grösse und Lage des Grundstücks sowie über die Beschaffenheit des Baugrundes (Bodenart, Bodenbelastungsfähigkeit, Niveauunterschiede, Grundwasserspiegel etc.).

Aus dem Bauplan ersichtliche Layout-relevante Daten sind vor allem die Gebäude-Eigenschaften (Form, Grösse, Stockwerke, Abmessungen von Türen und Durchgängen sowie die Lage von Treppen, Aufzügen und Verladerampen). Sofern mehrere Gebäude gegeben sind, geht aus dem Plan auch ihre Verteilung auf dem Grundstück hervor.

C. Die Layout-Grobplanung

Bei der Grobplanung wird bewusst darauf verzichtet, schon auf Layout-Feinheiten wie einzelne Anlagen, Zwischenlager oder Arbeitsplatzgestaltungen einzugehen. Auch die Höhe als dritte Dimension der Einrichtungen bleibt noch unberücksichtigt.

Es geht vielmehr "lediglich" um die optimale Anordnung¹⁾ von Punkten bzw. kleinen Quadraten, welche die Anordnungseinheiten (Organisationseinheiten) repräsentieren und ferner um die Festlegung

1) Damit sind sowohl theoretische als auch praktische (Sub-)Optima gemeint. Vgl. IA 2a)

der Flächenausdehnung, der Flächenform und der Flächenstrukturierung solcher Verteilungen. Als Anordnungseinheit gelten einzelne Arbeitsplätze oder mehrere, zu Gruppen zusammengefasste, gleichartige Arbeitsplätze. Auch die Dienstleistungsstellen und das Einsatz- und Absatzlager werden dazu gerechnet.

Ausgangspunkt der folgenden Betrachtung ist die Darstellung des Ablaufs der Layout-Grobplanung. In Zusammenhang damit könnten auch all die Optimierungsverfahren geschildert werden, die bei der Grobplanung Anwendung finden. Da die Grobplanungsverfahren aber zahlreich und teilweise auch recht kompliziert sind, werden sie zur besseren Übersicht gesondert behandelt.

1. Der Ablauf der Grobplanung

Einen systematischen Weg zur Durchführung der Grobplanung stellt das anschliessend geschilderte Drei-Phasen-Schema dar. Obwohl in einigen Fällen Abweichungen von dem Schema erfolgen,¹⁾ bildet es hier doch meistens die Grundlage für den Grobplanungs-Ablauf.

In der ersten Phase werden die Arbeitsplätze, die Arbeitsplatzgruppen, die Dienstleistungsstellen sowie das Einsatz- und Absatzlager, alle jeweils durch kleine, gleich grosse Quadrate oder auch nur durch Punkte (kleine Kreise) dargestellt, auf einer zusammenhängenden Fläche möglichst günstig angeordnet. Die zeichnerische Abbildung einer solchen Punkteverteilung wird als normiertes Verteilungsdiagramm bezeichnet, weil die Quadrate und Punkte noch keinen Aufschluss über den notwendigen Platzbedarf (Flächenbedarf) der Organisationseinheiten geben.

Erst die zweite Phase führt zur Berücksichtigung des Flächenbedarfs der normierten Verteilung: Aus dem Verteilungsdiagramm wird das Raumdigramm abgeleitet.

In der dritten Phase erfolgt schliesslich, sofern erforderlich, die Anpassung des Raumdigramms an die räumlichen Gegebenheiten

1) Vgl. z. B. den modifizierten Ablauf unter III C 3b)

des Betriebes. Hier muss es gelingen, den theoretischen Idealplan, der seinen Ausdruck im Raumdiagramm findet, mit den tatsächlichen Verhältnissen bzw. mit der sich auf das Grundstück und Gebäude beziehenden betrieblichen Datensetzung in Einklang zu bringen.

a) Die Bildung des normierten Verteilungsdiagramms

Der Ausgangspunkt für ein normiertes Verteilungsdiagramm ist häufig eine Rasterebene (Rasterfläche). Darunter wird eine in gleich grosse Quadrate (Felder) unterteilte Fläche verstanden, deren einzelne Felder als mögliche Standorte der Anordnungseinheiten anzusehen sind.¹⁾ Um klarzumachen, dass auch zwischen aneinandergrenzenden Feldern Transporte nötig sind, kann man sich die Anordnungseinheiten als Punkte im Mittelpunkt der Quadrate und die Verbindungslinien zwischen den Punkten als Transportlinien denken.

Voraussetzung zur Entwicklung des Verteilungsdiagramms ist, dass - wie in dieser Arbeit - das Fertigungsverfahren und damit auch die organisatorische Grundstruktur des Layout (also die Einteilung in Strassen und Werkstätten) feststeht. Aufgrund dessen ist dann auch bekannt, ob und wieviele gleichartige Arbeitsplätze zu Gruppen zusammengefasst worden sind.

Da die Transportkosten beim Layout eine dominierende Rolle spielen, sind insbesondere sie bei der Bildung des Verteilungsdiagramms ausschlaggebend.²⁾ Vereinfachend wird dabei unterstellt, dass die Produkte aus Transportweg und Transportmenge ein Massstab für die Transportkosten sind.³⁾ Ausserdem gilt die Annahme, dass etwaige besondere Eigenschaften des Transportgutes (Sperrigkeit,

-
- 1) Mitunter werden jedoch auch Dreieckraster verwendet. Dann fungieren die Endpunkte der Dreiecke als potentielle Anordnungsplätze. Vgl. III C 2b)
 - 2) Ausnahmsweise werden neben den Transportkosten ergänzend die Installationskosten herangezogen. Darüber hinaus wird auch häufig auf die Entwicklungskosten eingegangen.
 - 3) Eine kritische Analyse dieser Unterstellung findet sich unter IV D 3.

Zerbrechlichkeit etc.) durch eine Gewichtung der Transportmengen berücksichtigt worden sind.

Sofern die Produkte auf Fertigungsstrassen hergestellt werden, ergeben sich bei der Bildung des Verteilungsdiagramms kaum Komplikationen. Hier erübrigt sich auch die Verwendung einer Rasterfläche. Die Organisationseinheiten sind entsprechend der Reihenfolge der Arbeitsgänge aneinanderzureihen, weil auf diese Weise Rücktransporte vermieden werden und ein vorteilhafter Einfluss auf die Transportkosten ausgeübt wird. Eine Ausnahme bilden nur bestimmte Dienstleistungsstellen, die im allgemeinen nicht Teil einer Arbeitsgangfolge sind (Reparaturabteilungen, Umkleidekabinen, sanitäre Anlagen).¹⁾ Diese werden überhaupt erst in der zweiten und dritten Phase der Grobplanung berücksichtigt.

Viel schwieriger ist die Lage bei der Werkstattfertigung. Diese ist ja durch eine Vielzahl verschiedener Produkte und Arbeitsgangfolgen bei kleinen Losgrößen gekennzeichnet. Daher kann zur Erstellung des Verteilungsdiagramms nicht wie bei der Strassenfertigung ohne weiteres die Arbeitsgangfolge eines bestimmten Erzeugnisses zugrunde gelegt werden. Vielmehr müssen sämtliche Arbeitsgangfolgen gebührende Berücksichtigung finden. Das ist aber häufig so kompliziert, dass nur mit besonderen Verfahren eine befriedigende Lösung erzielt werden kann. Ein schon jetzt hervorzuhebender Nachteil einiger dieser Verfahren liegt darin, dass sie wohl in der Lage sind, ein vorteilhaftes Verteilungsdiagramm zu liefern, aber keinen oder nur ungenügenden Aufschluss geben über die - auf den Transportbeziehungen basierende - unterschiedliche Wichtigkeit von Nachbarschaftsverhältnissen. Daraus resultieren Probleme bei der späteren Anpassung des Raumdiagramms an die gegebenen räumlichen Verhältnisse des Betriebes.

1) Kontrolle und Revision, die regelmässig zwischen den einzelnen Arbeitsgängen anfallen, können dagegen als Teil einer Arbeitsgangfolge aufgefasst werden.

b) Die Entwicklung des Raumdiagramms

Bei der Entwicklung des Raumdiagramms sollen - ausgehend vom optimalen Verteilungsdiagramm - die durch gleich grosse Quadrate (Felder) oder Punkte dargestellten Organisationseinheiten in ihrer tatsächlichen flächenmässigen Grösse erfasst werden.

Dazu wird der bekannte Flächenbedarf pro Arbeitsplatz (bzw. der Bedarf der Dienstleistungsstellen sowie des Einsatz- und Absatzlagers) herangezogen. Besteht eine Anordnungseinheit aus mehreren (funktionsgleichen) Arbeitsplätzen, so erhält man den Flächenbedarf der Einheit durch die Multiplikation des Bedarfs pro Arbeitsplatz mit der Zahl der Arbeitsplätze. Welche geometrische Gestalt die Flächeneinheiten bekommen müssen (z. B. kreisförmig, rechteckig oder quadratisch), kann endgültig erst im dritten Schritt der Grobplanung entschieden werden. Schon jetzt erweist es sich aber als zweckmässig, die Form der Einheiten so zu gestalten, dass ihr im Verteilungsdiagramm gegebenes Nachbarschaftsverhältnis erhalten bleibt.¹⁾ Fraglich ist jedoch, ob diese Anordnung auch noch bei der Anpassung an die betrieblichen Verhältnisse beibehalten werden kann.

Die Bildung des Raumdiagramms wirft aber noch eine weitere Schwierigkeit auf: Durch die Berücksichtigung des Flächenbedarfs kann es geschehen, dass Anordnungseinheiten auseinanderrücken müssen, also die ihnen im Verteilungsdiagramm zugewiesene optimale Position ändern müssen, weil Einheiten mit grossem Platzbedarf die um sie herumliegenden Einheiten praktisch von sich wegdrängen. Daher ist zu prüfen, ob es nicht überhaupt sinnlos ist, sich um eine optimale Verteilung zu bemühen. Anhand von zwei Beispielen lässt sich jedoch zeigen, dass dies nicht zutrifft.²⁾

1) Auch die im Verteilungsdiagramm nicht enthaltenen Dienstleistungsstellen müssen nun - am besten am Rande des Raumdiagramms - angefügt werden.

2) Vgl. dazu Kiehne (Standortplanung) S. 64 f. Kiehne nennt die Anordnungseinheiten organisatorische Einheiten (OE).

Wenn einerseits im Verteilungsdiagramm die grossen und die kleinen Anordnungseinheiten etwa abwechselnd aneinandergereiht sind, so dass jede grosse einige kleine Einheiten als Nachbarn hat und umgekehrt jede kleine Einheit eine grosse berührt, dann brauchen die Einheiten wahrscheinlich nur wenig verschoben zu werden. Denn die grossen Einheiten nehmen im wesentlichen den Platz ein, den die benachbarten kleinen ohnehin nicht ausfüllen.

Wenn andererseits Konzentrationen von grossen oder kleinen Organisationseinheiten existieren, so kann das ja nur daran liegen, dass die Nachbarschaft dieser Einheiten besonders wichtig ist. Dann ändert aber die Flächenausdehnung nichts daran, dass diese Einheiten am besten möglichst nahe beieinanderliegen. Es ist zwar unvermeidlich, dass die Verbindungswege zwischen geballt angeordneten grossen Einheiten länger werden als im Verteilungsdiagramm; dennoch sind sie aber so kurz, wie das bei den gegebenen Flächenausdehnungen nur möglich ist.

c) Die Anpassung des Raumdiagramms an die räumlichen Gegebenheiten

Unter "räumlichen Gegebenheiten" werden vorhandene betriebliche Grundstücke und Gebäude verstanden. Ausserdem muss aber auch die das Grundstück und Gebäude betreffende Datensetzung der Geschäftsleitung hinzugerechnet werden. Denn letztlich ist diese dafür ausschlaggebend, an welche räumlichen Verhältnisse das Raumdiagramm anzupassen ist.

In der Regel dürfte sich zwar die Datensetzung an den bestehenden Verhältnissen orientieren; trotzdem kann sie aber in vielen Bereichen noch Wahlmöglichkeiten offenlassen. Gerade dadurch wird jedoch die Arbeit des Layout-Planers erheblich erschwert. Nun muss er nämlich immer prüfen, welche der wählbaren räumlichen "Gegebenheiten" die besten Anpassungschancen bieten. Um eine zu grosse Komplizierung der anschliessenden Analyse zu vermeiden, wird jedoch unterstellt, dass die betriebliche Datensetzung vollkommen mit den tatsächlichen Verhältnissen übereinstimmt.

Der einfachste Fall liegt vor, wenn bei einer Neuplanung von Grund auf von dem gegebenen Grundstück keinerlei Beschränkungen ausgehen. Das Raumdiagramm braucht dann gar nicht verändert zu werden, weil Form und Grösse des Grundstückes ausreichend sind und das später zu errichtende Gebäude der im Diagramm gezeigten Anordnung angepasst werden muss.

Nicht selten aber wird das Grundstück zur Aufnahme des Raumdiagramms in seiner ursprünglichen Gestalt ungeeignet sein. Da die Probleme bei der nun erforderlichen Variation des Diagramms denen ähnlich sind, die bei Einpassungen in vorhandene Gebäude auftreten können, wird im folgenden nur noch diese Situation (Neuplanung bei bestehenden Gebäuden) untersucht. Dabei wird vorausgesetzt, dass der gesamte Flächenbedarf einer Anordnung nicht grösser als der insgesamt verfügbare Zuordnungsraum ist.

(1) Zuerst soll auf die Strassenfertigung eingegangen werden. Hier ist die Reihenfolge und die Nachbarschaft der Organisationseinheiten eindeutig durch die Arbeitsgangfolge bestimmt. Sofern eine zusammenhängende Zuordnungsfläche (Flachbau, keine abgegrenzten Räume bzw. Hallen) zur Verfügung steht, kann das Raumdiagramm leicht in das Gebäude eingepasst werden. Die geometrische Gestalt des Anordnungsraums bedingt jedoch eine besondere Linienführung der Strasse. Aus diesem Grunde ergeben sich z. B. Anordnungen in gerader, kreisförmiger oder U-förmiger Linie.

Auch falls die Zuordnungsebene aus verschiedenen getrennten Teilflächen (einzelne Hallen oder Stockwerke) besteht, ist die Anpassung nicht wesentlich komplizierter. Da die Einheiten alle gleich oft von einem Erzeugnis beansprucht werden, ist ihre Nachbarschaft auch jeweils gleich wichtig. Welcher Teil der Strasse welcher Teilfläche zugewiesen wird, ist daher nicht von entscheidender Bedeutung. Allerdings gilt diese Regel nicht ausnahmslos. Wenn das Produkt im Fertigungsverlauf erheblichen - z. B. gewichtsmässigen - Änderungen unterliegt oder wenn einige sehr schwere Maschinen Sonderfundamente brauchen, ist die Bestimmung der Partialflächen für die einzelnen Strassenteile durchaus nicht gleichgültig. Wird

z. B. in einem Stockwerksgebäude ein Erzeugnis im Produktionsprozess durch Hinzufügen (Montage) der Einzelteile erheblich schwerer, so ist zur Transporterleichterung eine Fertigung von "oben" nach "unten" zu erwägen. Das bedeutet, der Strassenbeginn ist in die Obergeschosse zu legen.

(2) Bei Werkstattfertigung können dagegen die Anordnungseinheiten ganz verschieden stark beansprucht werden, so dass auch unterschiedlich wichtige Transportbeziehungen bestehen. Dann ist aber - wie an einigen Planungssituationen verdeutlicht werden soll - die Anpassung des Raumdiagramms an die räumlichen Gegebenheiten häufig recht schwierig.

Am einfachsten ist die Anpassung noch, wenn eine ungeteilte Anordnungsfläche mit etwa gleicher geometrischer Form wie das Raumdiagramm vorliegt. In diesem Fall sind nur kleinere Umstellungen notwendig, wofür sich vornehmlich diejenigen Dienstleistungsstellen anbieten, die nicht Teil einer Arbeitsgangfolge sind und daher ohnehin am Rande des Diagramms angeordnet wurden.

Erhebliche Komplikationen ergeben sich aber bei grösseren Differenzen der geometrischen Gestalt von Anordnungsebene und Raumdiagramm oder bei Anordnungsflächen, die in Teilflächen aufgegliedert sind. Da die Nachbarschaft der Organisationseinheiten wegen verschieden starker Transporte von unterschiedlicher Relevanz sein kann, erhebt sich die Frage, wie die Anpassung vorzunehmen ist, ohne dass Einheiten mit hohen Transportfrequenzen getrennt werden.

Lösungsansätze dieser Problematik müssen daran orientiert sein, anhand des optimalen Raum- oder Verteilungsdiagramms zu zeigen, bei welchen Anordnungseinheiten die Nachbarschaft besonders wichtig ist. Diese Einheiten können zu Anordnungsgruppen zusammengefasst und als solche den vorhandenen Teilflächen zugeordnet oder der geometrischen Form einer ungeteilten Zuordnungsebene angepasst werden.

Eine Möglichkeit zur Feststellung der Anordnungsgruppen besteht

darin, gleich bei Bildung des Verteilungsdiagramms aufgrund der gegebenen Unterlagen (Arbeitsgangfolgen, Transportmengenmatrizen) eine Bewertung der Nachbarschaftsverhältnisse vorzunehmen. Praktisch würde das so aussehen, dass jede Verbindung zwischen zwei angeordneten Einheiten mit einer Wertzahl (basierend auf den Transportmengen zwischen diesen Einheiten) gekennzeichnet wird. In der Tat ist das ein gangbarer Weg, den einige Grobplanungsverfahren auch beschreiten.

Allerdings führt das beschriebene Vorgehen oft zu unbefriedigenden Ergebnissen, und zwar besonders dann, wenn die Organisationseinheiten und die Transportbeziehungen zahlreich sind. Das mit Wertzahlen versehene Verteilungsdiagramm (bzw. das daraus entwickelte Raumdiagramm) kann nämlich so unübersichtlich sein, dass eine vernünftige Gruppenbildung unmöglich ist. Daher war eine Methode zu finden, die eine bessere Gruppenbildung erlaubt. Tatsächlich existiert eine solche Methode. Sie heisst Kontraktionsmethode und wird zusammen mit den anderen Grobplanungsverfahren dargestellt.¹⁾

Bei der Verteilung der Gruppen können - sofern vom Raumbedarf her Alternativen bestehen, also für die ungeteilten Gruppen mehrere Standorte in Betracht kommen- die gleichen Verfahren wie bei der Bildung des Verteilungsdiagramms Anwendung finden. Dieser Gesichtspunkt sei hier ausdrücklich hervorgehoben.

Häufig wird aber die Form der Gesamtfläche bzw. die Grösse der Teilflächen so ungünstig sein, dass Alternativen gar nicht existieren, sondern die Gruppen vielmehr "auseinandergerissen" werden müssen. Um die negativen Folgen für die Transportkosten so gering wie möglich zu halten, ist es nun erforderlich, zunächst Gruppen mit vergleichsweise schwachen (inneren) Transportbeziehungen zu teilen.²⁾ Darüber hinaus sind von einer Trennung möglichst diejenigen

1) Vgl. dazu III C 3d)

2) Vgl. Kiehne (Standortplanung) S. 243 f. Eine Anordnungsgruppe wird bei Kiehne als organisatorische Gruppe (OG) bezeichnet.

Einheiten auszunehmen, zwischen denen innerhalb der gewählten Gruppen noch relativ wichtige Transportverbindungen bestehen.

Mit der Zuordnung der Gruppen oder Teilgruppen auf die Partialflächen bzw. auf die zusammenhängende Gesamtfläche ist jedoch der Anpassungsprozess des Raumdiagramms an die räumlichen Gegebenheiten oft noch nicht beendet. Denn jetzt müssen die in den verschiedenen Gruppen gegebenen Anordnungen mitunter noch wegen der Transportverbindungen zwischen den verteilten Gruppen (Extertransporte) sowie wegen der geometrischen Form der Teilflächen modifiziert werden.

Die Form der Teilflächen kann eine nochmalige Gruppenbildung bei den Teilgruppen erfordern. Dann ist in der oben für das gesamte Raumdiagramm beschriebenen Weise vorzugehen. Der Einfluss der Extertransporte auf die Gruppen und Teilgruppen hängt davon ab, wie gross die Flächenausdehnung der Gruppen im Verhältnis zu den Abständen zwischen den Gruppen ist.¹⁾ Nehmen die Gruppen nur kleine Flächen ein, und sind die Abstände zwischen den Flächen gross, so kann auf eine Neuordnung der Einheiten innerhalb der Gruppen verzichtet werden, weil der Gesamtweg ohnehin nur um einen kleinen Bruchteil zu verkürzen ist. Andernfalls muss aber den Extertransporten durch Drehung der Gruppen oder auch durch Variation der Gruppenstruktur Geltung verschafft werden. Dafür stehen hier keine besonderen Verfahren bereit. Vielmehr muss dieses Problem durch Ausprobieren und planerisches Geschick zufriedenstellend gelöst werden.

Zusammenfassend ergibt sich folgendes Schema für die Durchführung des Anpassungsprozesses:

- (1) Ausgangspunkt ist das optimale Verteilungsdiagramm und das daraus entwickelte optimale Raumdiagramm.
- (2) Das optimale Raumdiagramm lässt sich, sofern die Anordnungsebene eine zusammenhängende Fläche von einer dem Diagramm

1) Vgl. Kiehne (Standortplanung) S. 244

entsprechenden oder ähnlichen geometrischen Form ist, leicht einpassen.

(3) Liegen dagegen Teilflächen vor oder ist die geometrische Gestalt der Gesamtfläche ungünstig, so müssen Anordnungsgruppen gebildet werden.

(4) Die Gruppen werden auf die Teilflächen verteilt bzw. der Form der Gesamtfläche angepasst. Dabei können Gruppentrennungen erforderlich werden.

(5) Wenn nötig sind jetzt noch durch Umgestaltung der Gruppen und Teilgruppen die geometrischen Formen der Teilflächen oder die externen Transportbeziehungen zu berücksichtigen.

Auch wenn bei den anschliessend erörterten klassischen und modernen Grobplanungsverfahren die Entwicklung des optimalen Verteilungsdiagramms im Vordergrund steht, wird immer auch noch darauf eingegangen, in welcher Weise die weitere Grobplanung und insbesondere der notwendige Anpassungsprozess zur erfolgen hat.

2. Die klassischen Verfahren der Grobplanung

Zu den klassischen Methoden werden das Travel-Charting und das Dreieckverfahren gezählt. Bei ihnen handelt es sich um unsystematische Probiervverfahren, die auch heute noch verbreitete Anwendung finden. Beide überprüfen immer nur einige von allen möglichen Anordnungsalternativen. Sie eignen sich daher lediglich zur Ermittlung praktischer Optima.

a) Das Travel-Charting

Grundlage des Travel-Charting, das auch als From-To Chart Analysis oder als Cross-Chart Analysis bezeichnet wird, ist die Aufzeichnung der Transportbeziehungen zwischen den anzuordnenden Einheiten.^{1) 2)} Dabei bedient man sich einer Matrix, eben der

1) Vgl. Apple (Layout) S. 169 ff.; Muther (Layout) S. 184 ff.; Moore (Layout) S. 310 ff.

2) In der deutschen Literatur findet sich die Beschreibung eines ähnlichen Verfahrens bei Schmidt (Standort) S. 212 ff.

sogenannten Travel-, Cross- oder From-To Chart, die zur Kennzeichnung der Transportstärke zwischen jeweils zwei Einheiten bestimmte Masszahlen wie Transportmengen (Transportgewichte), Anzahl der Transportläufe eines Fördermittels oder Anzahl der Transportladungen enthält. Bei dem unten erörterten Beispiel handelt es sich um Transportmengen.

Travel-Charting bedeutet nun, dass anhand der vorliegenden Travel-Chart versucht wird, die Einheiten, zwischen denen grosse Transportmengen zu befördern sind, nebeneinander anzuordnen. Man beginnt mit einer Ausgangslösung und bemüht sich, diese durch Ausprobieren alternativer Anordnungen zu verbessern. Als Ausgangslösung kann eine beliebige Anordnung dienen. Es empfiehlt sich jedoch, auch schon bei ihrer Bildung die Stärke der Transportbeziehungen zu beachten.

In dem nachfolgenden Beispiel ¹⁾ muss die Länge der Transportwege zwischen den Einheiten aus dem jeweils ermittelten Verteilungsdiagramm abgelesen werden. Ausserdem sind in das Diagramm die aus der Transportmengenmatrix ersichtlichen Mengengrössen eingefügt. Auf diese Weise wird grafisch verdeutlicht, welche Anordnungseinheiten mit wichtigen Transportbeziehungen weit auseinanderliegen und wo Verbesserungsvorschläge ansetzen müssen. Zusätzlich zu den bisherigen Annahmen ²⁾ gelten folgende Voraussetzungen:

(1) Das Ziel ist die Transportkosten-Minimierung.

1) Vgl. dazu Moore (Layout) S. 318 ff. Moore geht jedoch - anders als hier - davon aus, dass die Summe der Produkte aus Transportwegen und Transportläufen ein Massstab für die Güte des Layout ist.

2) Die Produkte aus den (gewichteten) Transportmengen und den Transportwegen sind ein Massstab für die Transportkosten; der verfügbare Zuordnungsraum ist ausreichend gross.

(2) Es sollen neun Einheiten (sieben Werkstätten bzw. Arbeitsplätze B-H sowie das Einsatzlager A und das Absatzlager I) angeordnet werden.

(3) In dem neuen Fertigungsbereich sollen neun Produkte hergestellt werden, für welche die Arbeitsgangfolgen und die jeweils dazugehörigen (auf den Herstellungsmengen basierenden) Transportmengen (to) zwischen zwei Einheiten gegeben sind (Abb. 8, Abb. 9).¹⁾

Produkt	Arbeitsgangfolge	Transportmenge (to)
1	A B C H I	250
2	A C E G I	60
3	A B C F G I	20
4	A D E C I	4
5	A B H C F I	50
6	A D I	180
7	A D G I	20
8	A H F I	20
9	A B D G I	4

Abb. 8 Arbeitsgangfolgen von neun Produkten und anfallende Transportmengen (to)

nach von	A	B	C	D	E	F	G	H	I	Σ
A		324	60	204				20		608
B			270	4				50		324
C					60	70		250	4	384
D					4		24	180		208
E			4				60			64
F							20		70	90
G								104		104
H			50			20		250		320
I										0
Σ	0	324	384	208	64	90	104	320	608	2102

Abb. 9 Travel-Chart (aus Abb. 8 abgeleitet) (Beträge in to)

1) Vgl. Moore (Layout) S. 319 f.

- (4) Eine Wegeinheit beträgt 10 m und ist gerade die Entfernung zwischen benachbarten Organisationseinheiten.
- (5) Als benachbart gelten zusammenhängende Einheiten (Quadrate), nicht aber Quadrate, die sich nur in einem Eckpunkt berühren (vgl. Abb. 10.).
- (6) Der Transportweg erhöht sich um 10 m, wenn zwischen zwei Einheiten eine weitere Einheit liegt. Er erhöht sich um 20 m, wenn zwei Einheiten dazwischenliegen etc.
- (7) Diagonaltransporte sind verboten, weil angenommen wird, dass sie den Produktionsablauf stark beeinträchtigen würden. Ergeben sich bei einer Verteilung Diagonalverbindungen (vgl. dazu Abb. 10), so erfolgen die Transporte auf dem kürzesten "Umweg".
- (8) Als Ausgangslösung dient die in Abb. 10 gezeigte Verteilung.¹⁾ Sie verursacht Transportkosten in Höhe von 32.960 DM (Abb. 11).

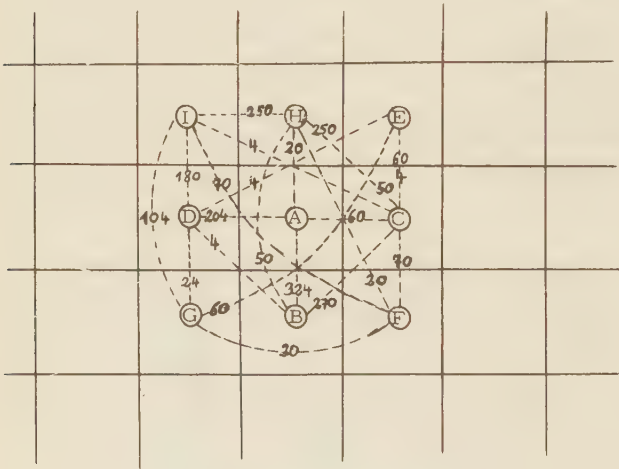


Abb. 10 Verteilungsdiagramm 1 (Ausgangslösung) (Beträge in to)

1) Vgl. Moore (Layout) S. 321

Weg Nr.	Transport- verbindg.	Transport- mengen(to)	Entfernng. (m)	Transportkosten (DM)
1	H I	250	10	2.500
2	D I	180		1.800
3	D G	24		240
4	A D	204		2.040
5	A B	324		3.240
6	A H	20		200
7	A C	60		600
8	C F	70		700
9	C E	60		600
10	E C	4		40
11	B D	4	20	80
12	B C	270		5.400
13	C H	250		5.000
14	H C	50		1.000
15	F G	20		400
16	G I	104		2.080
17	B H	50		1.000
18	D E	4	30	120
19	C I	4		120
20	H F	20		600
21	E G	60	40	2.400
22	F I	70		2.800
				32.960

Abb. 11 Berechnung der Transportkosten 1 (aus Abb. 10 abgeleitet)

Nun ist zu prüfen, ob durch Änderung des Verteilungsdiagramms eine bessere Anordnung gefunden werden kann. Dafür lassen sich einige Regeln aufstellen:

- (1) Diagonalverbindungen, die zu hohen Transportkosten führen, sind zu beseitigen oder zu verkürzen. Daraufhin sollten besonders die Verbindungen E G, F I, C H, B C überprüft werden.
- (2) Liegen zwischen zwei Einheiten mit grossen Transportmengen noch weitere Anordnungseinheiten, so ist eine Änderung zu erwägen. Das trifft auf die Verbindung G I zu.

(3) Einsatz- und Absatzlager sollten am Rande des Verteilungsdiagramms liegen, damit ein zügiger An- und Abtransport gewährleistet ist. Davon werden A und I berührt.

(4) Im Zentrum der Anordnung sind diejenigen Einheiten zu placieren, die mit einer relativ grossen Zahl anderer Einheiten wichtige Kontakte haben. Dazu gehören H (5), I (5) und C (6).

Diese sich teilweise entgegenstehenden Vorschriften müssen möglichst gut aufeinander abgestimmt werden. In Konfliktsituationen ist immer abzuschätzen, bei Befolgung welcher Regel die grösseren Einsparungen von Transportkosten zu erwarten sind.

Ein aufgrund dieser Überlegungen gebildetes Verteilungsdiagramm könnte das in Abb. 12 gezeigte Aussehen haben. ¹⁾

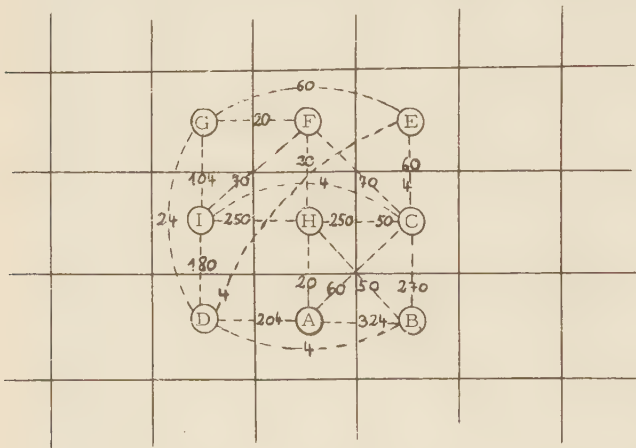


Abb. 12 Verteilungsdiagramm 2 (verbesserte Lösung)(Beträge in to)

Bei einer erneuten Berechnung der Transportkosten (Abb. 13) wird offenbar, dass die zweite Lösung bedeutend besser als die erste ist. Jetzt betragen die Kosten nur noch 24.560 DM.

1) Vgl. Moore (Layout) S. 323

Weg Nr.	Transport- verbindg.	Transport- mengen(to)	Entferng. (m)	Transportkosten (DM)
1	A B	324	10	3.240
2	A H	20		200
3	B C	270		2.700
4	C H	250		2.500
5	H C	50		500
6	A D	204		2.040
7	D I	180		1.800
8	H I	250		2.500
9	G I	104		1.040
10	F G	20		200
11	F H	20		200
12	C E	60		600
13	E C	4		40
14	F I	70	20	1.400
15	C F	70		1.400
16	A C	60		1.200
17	B H	50		1.000
18	B D	4		80
19	D G	24		480
20	E G	60		1.200
21	C I	4		80
22	D E	4	40	160
				24.560

Abb. 13 Berechnung der Transportkosten 2 (aus Abb. 12 abgeleitet)

Auch die zweite Verteilung liesse sich möglicherweise noch vorteilhafter gestalten. Von weiteren Anordnungsversuchen wird jedoch abgesehen, weil das vorliegende Resultat schon recht gut ist und erneute Verbesserungsversuche nur eine Wiederholung des gezeigten Vorgehens bedeuten würden. Sofern man sich aber für eine Weiterführung des Verfahrens entscheidet, muss anhand der erzielten Lösungsverbesserungen immer überprüft werden, ob sich die zusätzliche Rechenarbeit gelohnt hat. Sobald das nicht mehr der

Fall ist, sollte der Verbesserungsvorgang abgebrochen werden.¹⁾

Im zweiten Schritt der Grobplanung ist nun das Verteilungsdiagramm in das Raumdigramm umzuwandeln. Obwohl es jetzt, da die normierten Einheiten ihre tatsächliche Flächenausdehnung erhalten, regelmässig zu Verzerrungen der Anordnung kommen wird, bleibt die im Verteilungsdiagramm ermittelte Lösung im Prinzip erhalten. Nach wie vor liegen Einheiten mit starken Transportbeziehungen so dicht beieinander wie nur möglich.

Das kann sich jedoch bei der Anpassung an die räumlichen Gegebenheiten ändern. Wenn die Gesamtfläche in Teilflächen gegliedert ist oder wenn ihre Form stark von der des Raumdigramms abweicht, wird die Bildung von Anordnungsgruppen erforderlich. Eine Hilfe bei der Gruppenbildung bieten die im Verteilungsdiagramm zwischen den Einheiten eingetragenen Transportmengen. Allerdings sind derartige Diagramme, gerade wenn sie eine grössere Zahl von Einheiten umfassen, ziemlich unübersichtlich. Die Bedeutung der später zu schildernden Kontraktionsmethode (systematisches Verfahren zur Gruppenbildung) wird damit unterstrichen.²⁾

Existieren für die Gruppen bei Berücksichtigung ihres Flächenbedarfs noch Anordnungsalternativen, so kann nach Feststellung der Externtransporte das Travel-Charting in unveränderter Weise angewendet werden. Daran ändert auch der Umstand nichts, dass jetzt im Unterschied zur Ausgangssituation die alternativen Zuordnungsstellen im Betriebsbereich schon bestimmt sind.

Allerdings könnte man eine Verbesserung im Lösungsansatz erreichen, wenn bei der Bildung der Ausgangslösung gleich die tat-

1) Grundsätzlich ergibt sich bei allen Grobplanungsverfahren das Problem, ob sich ihr Einsatz überhaupt lohnt, weil man ja im voraus zwar die Kosten für die Rechenarbeit nicht aber die erzielbaren Senkungen der Transportkosten abschätzen kann. Vgl. dazu die eigenen Ausführungen unter IV D 2.

2) Vgl. III C 3d)

sächlichen Entfernungen zwischen den Standorten berücksichtigt¹⁾ würden.

b) Das Dreieckverfahren

Ähnlich wie beim Travel-Charting kommt es auch beim Dreieckverfahren darauf an, anhand der Transportmengenmatrix durch Ausprobieren ein vorteilhaftes Layout zu entwickeln. Wieder versucht man das zu erreichen, indem zwischen Einheiten mit starken Transportverbindungen nur kurze Wege gestattet werden. Als neuer Gesichtspunkt tritt hier aber das Prinzip der Dreieck-Anordnung hinzu, das sogar im Widerspruch zu den Regeln des Travel-Charting stehen kann, sofern dort ein Verbot von Diagonalverbindungen besteht.

Der Grundgedanke des Dreieckverfahrens liegt darin, dass zwischen drei Anordnungseinheiten keine bedeutenden Transportwege entstehen, wenn sie in den Eckpunkten eines Dreiecks so nahe beieinander wie möglich placiert werden.²⁾

Die vierte Anordnungseinheit muss wiederum mit denjenigen zwei Einheiten ein Dreieck bilden, mit denen sie die stärksten Kontakte hat. Wird der Gedankengang fortgesetzt, so stellt sich heraus, dass bei einer grösseren Zahl von Einheiten diese in die Eckpunkte eines Dreiecknetzes (Dreieckrasters) zu setzen sind, um eine transportkostengünstige Verteilung zu erhalten.

Das soll an einem Beispiel für die Anordnung von vierzehn Arbeitsplätzen A-N erläutert werden.³⁾ Ausgangsbasis ist ein Dreieckraster, in welches die Einheiten einzuordnen sind. Es ist jedoch

-
- 1) Die Abstände zwischen den Anordnungspunkten im Diagramm entsprechen dann also den wirklichen Entfernungen. Dadurch erspart man sich die sonst notwendige Untersuchung wie bei der späteren Berücksichtigung der tatsächlichen Weglängen die im Verteilungsdiagramm gegebene Anordnung in die Realität zu übertragen ist.
 - 2) Vgl. Bloch (Dreieckverfahren) S. 305 ff.; Lerch (Materialflussuntersuchung) S. 417 ff.; Schmidt (Standort) S. 200 ff.
 - 3) Vgl. dazu Lerch (Materialflussuntersuchung) S. 417 ff.

zu beachten, dass das Dreieckverfahren nicht notwendig die Verwendung eines Dreiecknetzes erfordert. Auch in einem in Vierecke eingeteilten Raster ist eine Dreieckaufstellung möglich.¹⁾

Hier soll aber ein Dreiecknetz Anwendung finden, weil es den Grundgedanken der Methode unmittelbar zum Ausdruck bringt.

Im übrigen gelten die nachstehenden Annahmen:

(1) Das Ziel ist die Transportkosten-Minimierung.

(2) Die Transportmengen zwischen den Einheiten sind gegeben.

Rücktransporte treten nicht auf, so dass die Transportmengenmatrix²⁾ nur Eintragungen oberhalb der Diagonalen enthält (Abb. 14).³⁾

nach von	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	Σ
A				235	140	145	115		75						710
B				40					60		50	50			200
C				40							50			35	125
D												200			200
E										140					140
F										140					140
G								162			115		380	50	707
H												160			160
I												60			60
J															
K															
L												100			100
M															
N															
Σ				315	140	145	115	162	135	280	215	570	380	85	2.542

Abb. 14 Transportmengenmatrix (Beträge in to)

1) Vgl. Schmidt (Standort) S.201, Abb. 50

2) Vgl. Lerch (Materialflussuntersuchung) S.418

3) Sollten in anderen Fällen Rücktransporte anfallen, so lassen sich diese in Vorwärtstransporte "umwandeln", indem die Rücktransportmengen (z.B. 50 to von B nach A) den Vorwärtstransporten (z.B. 200 to von A nach B) zugerechnet werden. Dann ergibt sich nur noch ein "Vorwärtstransport" (A B = 50 to + 200 to = 250 to). Allerdings ist das Dreieckverfahren auch ohne diese Vereinfachung anwendbar.

(3) Das Dreiecknetz besteht aus gleichseitigen Dreiecken, deren Seitenlänge einer Weeinheit von 10 m entspricht.

(4) Ergeben sich in dem Dreieckschema zwischen zwei Einheiten Verbindungslinien, die sich nicht mit den Rasterlinien decken, sondern diese schneiden, so wird der kürzeste "Umweg" entlang den Rasterlinien genommen.

Beim Verteilen der Arbeitsplätze kann vorteilhaft mit der Einheit begonnen werden, welche zu den anderen Einheiten die stärksten Transportbeziehungen hat.¹⁾ Im Beispiel ist das der Arbeitsplatz A(vgl. Transportmengenmatrix). Die mit A in Verbindung stehenden Arbeitsplätze sind dann in der Reihenfolge abnehmender Transportintensität anzuordnen; also zuerst D, dann F, E, G und zuletzt I. Die Weiterverteilung beginnt wiederum bei derjenigen (bereits placierten) Einheit, von der zu den übrigen Einheiten die grössten Transportmengen zu befördern sind; das ist Arbeitsplatz G.

Eine nach mehrmaligem Ausprobieren ermittelte Lösung könnte das in Abb. 15 gezeigte Aussehen haben.²⁾ Die Zahlen zwischen den Einheiten sind die aus der Matrix entnommenen Transportmengen.

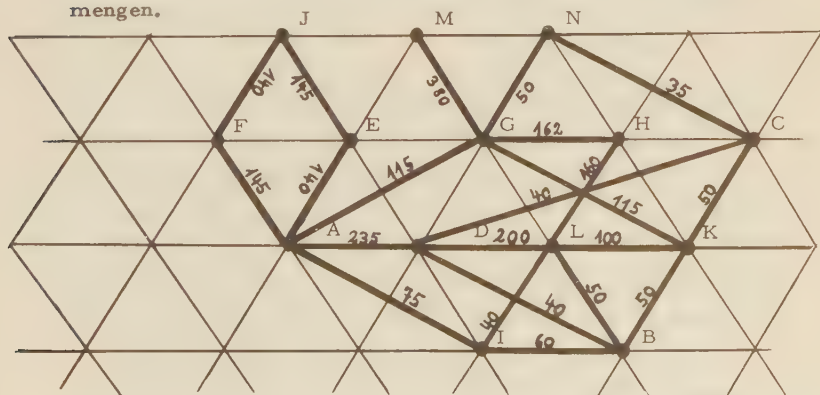


Abb. 15 Anordnung der Einheiten im Dreieckschema (Verteilungsdiagramm) (Beträge in to)

1) Vgl. Schmidt (Standort) S. 203

2) Vgl. das ähnliche Ergebnis von Lerch (Materialflussuntersuchung) S. 420

Wahrscheinlich könnten weitere Versuche noch günstigere Verteilungen liefern. Um die gefundenen Anordnungen exakt zu beurteilen, müssten jeweils die entstehenden Transportkosten berechnet werden. Das kann in gleicher Weise wie beim Travel-Charting geschehen: Die Transportwege zwischen zwei Punkten eines Dreiecks betragen voraussetzungsgemäss 10 m. Querverbindungen, die sich nicht mit den Rasterlinien decken, müssen in möglichst kurze Umwege umgewandelt werden. Die Verbindung C N könnte z. B. über H abgewickelt werden; die Weglänge beträgt dann 20 m. Durch Multiplikation der Wege mit den Mengen erhält man die Transportkosten.

Die anschliessenden Schritte im Grobplanungsablauf sind wieder die Raumdigrammbildung und die Anpassung des Diagramms an Grundstück und - sofern vorhanden - Gebäude. Wird eine Gruppenbildung erforderlich, so sollte dies aufgrund der im Verteilungsdiagramm eingetragenen Transportmengen erfolgen. Da auch ein Dreieckschema oft nicht besonders übersichtlich ist, kann die Zusammenfassung der Einheiten zu Gruppen recht schwierig werden. Dann empfiehlt sich die zusätzliche Anwendung der weiter unten erörterten Kontraktionsmethode.

Wenn für die Gruppen alternative Standorte in Frage kommen, lässt sich erneut die Dreiecksmethode einsetzen. Zu beachten ist aber, dass sich die Problemstellung insoweit verändert hat, als jetzt die alternativen Anordnungsplätze fixiert sind. Nun ergeben sich wiederum zwei Möglichkeiten: Entweder man geht in der oben beschriebenen Weise vor und entwickelt nach Festlegung der Transporte zwischen den Gruppen ein Dreiecksraster, das die tatsächlichen Entfernungen noch nicht wiedergibt; oder man konstruiert ein Diagramm mit den tatsächlichen Weglängen und verteilt nun die Einheiten nach dem Dreieck-Grundsatz. Im letzten Fall braucht dann keine Übertragung der in dem Diagramm gegebenen Anordnung in ein den realen Entfernungen entsprechendes Schema zu erfolgen.

3. Die modernen Verfahren der Grobplanung

Die zu untersuchenden modernen Planungsverfahren sind die Kreismethode, die Flood'sche Zurechnungstechnik, das Vertauschungsverfahren und die Kontraktionsmethode.

Auch hier handelt es sich mit Ausnahme der Kreismethode und der Flood'schen Zurechnungstechnik nur um Verfahren zur Bestimmung praktisch optimaler Resultate. Der Lösungsablauf dieser Verfahren ist aber vergleichsweise streng geregelt, d.h. statt unsystematischen Ausprobierens wird die genaue Einhaltung bestimmter - auch mathematischer - Vorschriften verlangt.

a) Die Kreismethode¹⁾

Die Kreismethode ist darauf ausgerichtet, ein Verteilungsdiagramm zu liefern, bei dem die Distanz zwischen zwei Einheiten umgekehrt proportional zu der Wichtigkeit der Transportbeziehung ist. Das versucht man durch Übereinanderlegen von Kreisen zu erreichen, in deren Mittelpunkt sich je eine Anordnungseinheit befindet und deren Radien umso kleiner gehalten werden je grösser die zu transportierenden Mengen sind.

Positiv kann bei der Kreismethode bewertet werden, dass sie weitgehend eindeutige Anordnungsregeln liefert, die das Ausmass des Ausprobierens einschränken, und es erlauben, schon beim ersten Versuch die im Rahmen dieses Verfahrens theoretisch optimale Verteilung zu bestimmen.

Ein grosser Vorteil der Methode ist auch darin zu sehen, dass das Verteilungsdiagramm die differierende Relevanz von Nachbarschaften unmittelbar sichtbar macht, wodurch eine später eventuell notwendige Gruppenbildung wesentlich erleichtert wird.

Weiter ist zu beachten, dass hier die Verwendung einer Rasterfläche unzweckmässig ist, weil die rechnerisch festgestellten Kreis-

1) Die Kreismethode wurde von Peter Buser entwickelt. Vgl. Buser (Anordnung) S. 77 ff. sowie derselbe (Kreismethode) S. 31 ff.

radien nicht immer genau einEinfaches oder Vielfaches einer Weeinheit in der Rasterebene ausmachen würden.

Zur näheren Beschreibung der Kreismethode wird wieder ein Beispiel herangezogen. Es ist ein grobes Layout für vierzehn Einheiten (Arbeitsplätze) A-N zu erstellen. Als Zahlenmaterial dient die bereits vom Dreieckverfahren bekannte Transportmengenmatrix.¹⁾ Die Layout-Zielsetzung besteht in der Transportkosten-Minimierung.

Ausgangspunkt der Kreismethode ist die Umformung der Transportmengenmatrix. Da die Weglängen zwischen den Standorten umgekehrt proportional zu der Bedeutung der Transportbeziehungen sein sollen, müssen die Mengengrößen der Matrix in einen entsprechenden Ausdruck verwandelt werden. Das geschieht, indem man eine beliebige Grösse (g) auswählt und diese nacheinander durch jeder der Transportmengen dividiert. So ergeben sich Werte, die als Distanzen zwischen je zwei Einheiten aufgefasst werden können(Abb. 16).

nach von	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
A				21,3	35,7	34,5	43,5		66,7					
B				125,0					83,4		100,0	100,0		
C				125,0							100,0			143,0
D												25,0		
E										35,7				
F										35,7				
G								30,8			43,5		13,2	100,0
H												31,2		
I												83,3		
J														
K												50,0		
L														
M														
N														

Abb. 16 Matrix der Transportweglängen (Kreisradien) (Beträge in m)

Im Beispiel wurde g 5000 angenommen. Die errechneten Weglängen

1) Vgl. III C 2b)

sind in Abb. 16 angeführt. Bei der späteren zeichnerischen Darstellung des Verteilungsdiagramms werden die eingetragenen Zahlenwerte als mm-Grössen aufgefasst.

Nach der Umformung der Transportmengenmatrix beginnt das eigentliche Planungsproblem, das darin besteht, die Standorte so zu wählen, dass zwischen den anzuordnenden Einheiten auch die in der Matrix angezeigten Weglängen zustande kommen.¹⁾ Dazu bedient man sich, wie der Name des Verfahrens schon andeutet, der Hilfe von Kreisen.

Jeder Arbeitsplatz wird, je nach dem ob er mit einer mit zwei oder mehreren anderen Einheiten in Verbindung steht, als Mittelpunkt eines Kreises, zweier oder mehrerer Kreise angesehen. Die Radien der Kreise entsprechen den Distanzen in der umgeformten Matrix. Als erster wird der Arbeitsplatz ausgelegt, um welchen der kleinste Kreis beschrieben ist. Von den beiden möglichen Einheiten ist diejenige zu nehmen, die den Mittelpunkt für weniger Kreise bildet. Die dazugehörige Einheit, die durch einen Kreis gleicher Grösse gekennzeichnet ist, wird auf einen beliebigen Punkt des kleinsten Kreisumfangs der ersten Einheit gelegt.²⁾ Die beiden kleinsten Kreise schneiden dann je das Zentrum des anderen.

Anschliessend wird diejenige Einheit ausgelegt, welche auf den nächst grösseren Kreis der bereits angeordneten Einheit gehört. Das geschieht erneut in der Weise, dass sich die entsprechenden Kreise in ihren Zentren schneiden, zugleich aber die bereits bestehende Verteilung unverändert lassen. Dementsprechend sind auch die übrigen Arbeitsplätze auszulegen. Die Reihenfolge wird

1) Vgl. dazu Buser (Anordnung) S.81f.

2) Auch im weiteren Verlauf der Verteilung kann mitunter der Anordnungspunkt auf einem Kreis frei gewählt werden. Durch Veränderung der Lage derartiger Punkte ist es möglich, das Gesamtbild des Verteilungsdiagramms zu variieren. Insoweit besteht auch bei der Kreismethode noch Spielraum für das Ausprobieren von Alternativen.

dabei durch die Kreisradien bestimmt, d.h. es muss jeweils die Einheit hinzugefügt werden, die zu der schon angeordneten Einheit mit dem kleinsten noch nicht besetzten Kreis Kontakt hat.

Komplikationen treten ein, wenn ein Arbeitsplatz mit mehr als einem weiteren Arbeitsplatz in Verbindung steht und eine gleichzeitige Berücksichtigung dieser Beziehungen nicht möglich ist. Dann muss eine geeignete Verschiebung der bereits fixierten Standorte erfolgen.¹⁾ Statt dessen kann man aber auch zwischen den Punkten, die sich ergeben, wenn jeweils nur ein Teil der Bedingungen erfüllt ist, den Mittelpunkt (einer Strecke, eines Dreiecks, eines Vierecks etc.) als Standort wählen.

Zur näheren Erläuterung der praktischen Planungsarbeit soll die Ermittlung des Verteilungsdiagramms am vorliegenden Beispiel ansatzweise dargestellt werden.²⁾

Für jede der vierzehn Anordnungseinheiten benötigt man eine kreisförmige, durchsichtige und beschreibbare Folie (ein Rondell), in deren (dessen) Zentrum die Einheit liegt. So erhält man vierzehn Rondelle (A-N). Um jedes Rondellzentrum werden soviele Kreise mit den entsprechenden Radien geschlagen, wie Einheiten existieren, die mit der Einheit im Zentrum Verbindung haben.

Weil 22 Werte in der Matrix vorkommen und jeder Wert zwei Abteilungen betrifft, entstehen auf diese Weise insgesamt 44 Kreise. Um die je zwei zusammengehörigen Kreise (Kreise gleichen Radius) erkennen zu können, sollte man die Kreise mit gleichen Zahlen versehen oder gleiche Stricharten, gleiche Farben oder Kombinationen davon verwenden.

Die Zuordnung der Arbeitsplätze erfolgt nach der oben genannten Regel. Das Rondell M enthält den kleinsten und nur diesen einen

1) Hier zeigt sich, dass mit der Kreismethode nicht immer eine eindeutige Standortbestimmung erzielt werden kann.

2) Vgl. Buser (Anordnung) S. 80ff.

Kreis (13, 2); es wird daher zuerst ausgelegt. Das Rondell G ist nun so auf das Rondell M zu legen, dass die beiden kleinsten Kreise (13, 2) der Rondelle je das Zentrum des anderen schneiden.

Der Partner des zweitkleinsten Kreises (30, 8) des Rondells G (bzw. des kleinsten noch freien Kreises der vorhandenen Verteilung) befindet sich auf Rondell H, das daher auf den um G beschriebenen Kreis (30, 8) gelegt wird. H enthält noch einen etwas grösseren Kreis (31, 2), dessen Partner zu L gehört. Demzufolge ist Arbeitsplatz L an den Arbeitsplatz H zu reihen. Der kleinste nicht besetzte Kreis (25, 0) der Anordnung ist auf L zu finden. Der entsprechende gleichgrosse Kreis liegt auf Rondell D, das daher mit L zu "paaren" ist.

Während bisher die Einheiten (Kreiszentren) M, G, H, L geradlinig untereinander angeordnet wurden, ist das bei D nicht mehr möglich, weil D zwei Bedingungen zugleich zu erfüllen hat: Erstens muss es auf dem um L beschriebenen (kleinsten) Kreis (25, 0) liegen; zweitens ist D dort so zu stationieren, dass der Arbeitsplatz A, der mit D benachbart ist,¹⁾ mit der bereits angeordneten Einheit G auf dem Kreis (43, 5) "gepaart" werden kann. Eine Verteilung, die diesen Bedingungen gerecht wird, zeigt Abb. 17.²⁾ Die in der Matrix enthaltenen Kreisradien sind hier im mm-Massstab wiedergegeben. Zur besseren Übersichtlichkeit wurden nur diejenigen Kreise aufgenommen, welche die sechs Arbeitsplätze betreffen. Kreise mit gleichem Radius sind durch gleiche Zahlen (1-6) kenntlich gemacht.

Zu beachten ist, dass die Anordnung ein anderes als das in Abb. 17 gezeigte Aussehen haben könnte, wenn man z. B. den Arbeitsplatz G nicht senkrecht unter M, sondern links oder rechts von M placieren würde. Derartige Veränderungen haben jedoch erst im Hinblick

1) Der kleinste freie Kreis um D (21, 3) macht A zum Nachbarn von D.

2) Vgl. dazu auch Buser (Anordnung) S. 83

auf die Anpassung des Raumdiagramms an die räumlichen Verhältnisse einen Sinn.

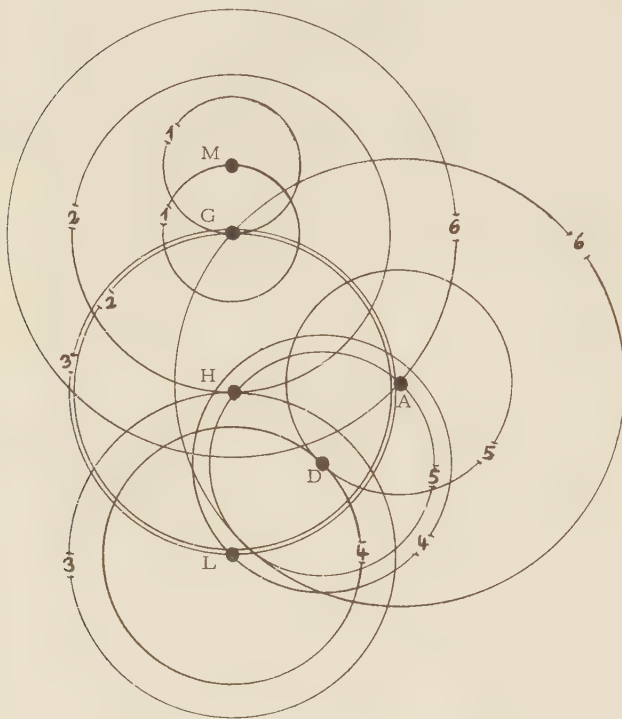


Abb. 17 Die Kreismethode zur Entwicklung des Verteilungsdiagramms

Die dargestellte Verteilung der sechs Einheiten möge als ansatzweise Beschreibung der Kreismethode genügen. Die Zuordnung der übrigen Rondelle erfolgt analog zu dem bisherigen Vorgehen. Eine mögliche Verteilung aller vierzehn Anordnungseinheiten er-

scheint in Abb. 18.¹⁾

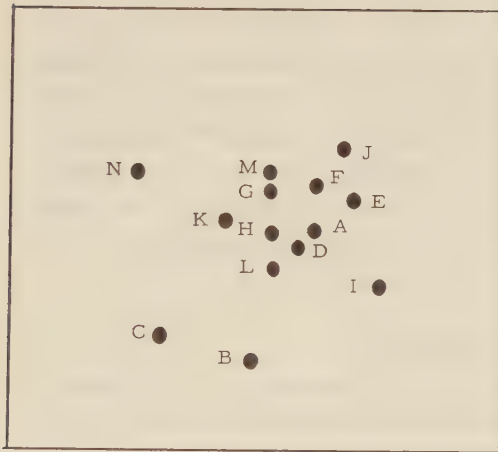


Abb. 18 Anordnung von vierzehn Arbeitsplätzen nach der Kreis-
methode (Verteilungsdiagramm)

Nach der Fertigstellung des Verteilungsdiagramms ist im folgenden Schritt der Grobplanung das Raumdiagramm zu entwickeln. Nun wird offenbar, ob die im Verteilungsdiagramm gegebenen Weglängen infolge des Flächenbedarfs der Einheiten gedehnt werden müssen oder zusammengezogen werden können. Wahrscheinlich sind bei Einheiten, die sehr dicht beieinanderliegen, Dehnungen erforderlich, während bei weiter entfernten Einheiten eine Verkürzung der Distanzen möglich ist.

Schliesslich muss noch die Anpassung des Raumdiagramms an die räumlichen Verhältnisse erfolgen. Sofern die Zuordnungsebene in Teilflächen gegliedert ist, wird eine Gruppenbildung aktuell. Dazu kann hier das Verteilungsdiagramm besonders gute Dienste leisten, weil darin den wichtigen Transportbeziehungen kurze Wegstrecken entsprechen. Existieren zwischen mehreren Organisationseinheiten starke Kontakte, so kommt das unmittelbar in einer Ballung (Gruppierung) der Einheiten zum Ausdruck. Die Frage ist allerdings, ob

1) Vgl. dazu auch Buser (Anordnung) S. 84

die sich abzeichnenden Gruppen ungetrennt auf den Partialflächen untergebracht werden können.

Im vorliegenden Fall wäre es günstig, wenn eine der Teilflächen die gesamte sich in Abb. 18 hervorhebende Kerngruppe (alle Einheiten ausser N, C, B, I) aufnehmen könnte. Sonst müsste dieser Ballungsraum aufgeteilt werden, wobei die Trennungslinie möglichst zwischen relativ unwichtigen Verbindungen zu ziehen wäre. Dann käme, sofern die Partialflächen das räumlich zulassen, eine Trennung des Ballungsgebietes in die zwei Gruppen (M, G, K, H, L) und (D, A, E, F, J) in Betracht.

b) Die Flood'sche Zurechnungstechnik

Dieses Verfahren stammt von Flood und wurde nach ihm benannt.¹⁾ Es eignet sich allgemein zur Ermittlung theoretisch optimaler Lösungen bei Zuordnungsproblemen. Daher kann es auch beim Layout in zahlreichen Situationen angewendet werden.

Zur Bestimmung des Optimums sind mehrere aufeinanderfolgende Rechenschritte konsequent einzuhalten. Dadurch eröffnet sich auch die Möglichkeit, bei grösseren Verteilungsproblemen die Anwendung elektronischer Computer ins Auge zu fassen.²⁾

Als Ausgangsbasis für die Bildung des Verteilungsdiagramms empfiehlt sich hier wie beim Travel-Charting und bei der Dreieckmethode die Verwendung einer Rasterebene. Handelt es sich um ein in gleich grosse Quadrate eingeteiltes Raster, so kann wieder der Mittelpunkt jeden Feldes als ein potentieller Standort betrachtet werden. Die Entfernungen zwischen den (künstlich fixierten) Standorten können in einer Entfernungsmatrix festgehalten werden. Wenn

1) Vgl. Angermann (Entscheidungsmodelle) S. 152 und die dort angegebene Literatur.

2) Die Frage des Computer-Einsatzes kann hier nur gestreift werden. Grundsätzlich dürften aber systematische Lösungsverfahren dafür eine gute Voraussetzung bilden, weil sie die Programmierung des Rechenablaufs erleichtern.

man die in der Distanzmatrix enthaltenen Werte mit den Transportmengen einer (gegebenen) Mengenmatrix multipliziert, entsteht eine Transportkostenmatrix (Gesamtmatrix), welche die Grundlage für die Anwendung der Flood'schen Zurechnungstechnik darstellt. Voraussetzung für diese Rechentechnik ist jedoch eine quadratische Gesamtmatrix,¹⁾ d.h. die Matrix muss ebensoviele Anordnungseinheiten wie Standorte (ebensoviele Zeilen wie Spalten) ausweisen. Sofern in der Rasterebene mehr Standorte gegeben sein sollten als Anordnungseinheiten zur Verfügung stehen, müssen so viele fiktive Einheiten geschaffen werden, dass ihre Zahl genauso gross ist wie die Zahl der Standorte. Um eine Einwirkung der fiktiven Einheiten auf das Ergebnis auszuschliessen, werden ihnen Null-Mengen zugeordnet, d.h. die Mengenmatrix und die Gesamtmatrix erhalten Null-Zeilen und Null-Spalten.

Das Vorgehen im Rahmen der Flood'schen Zurechnungstechnik soll nachfolgend an einem vereinfachten Beispiel genauer erläutert werden. Es geht um die Verteilung von vier Anordnungseinheiten (Werkstätten) A-D. Layout-Zielsetzung ist die Transportkosten-Minimierung.

Als erstes wird unterstellt, dass die Zuordnungsebene ebensoviele Standorte enthält wie Anordnungseinheiten gegeben sind. So entsteht von Anfang an eine quadratische Gesamtmatrix. Weiterhin gilt die Annahme, dass die Werkstätten vier bereits im Fertigungsbereich feststehenden (alternativen) Standorten I, II, III, IV zuzuordnen sind (Neuplanung bei vorhandenen Gebäuden). Im Verteilungsdiagramm und in der Entfernungsmatrix sind also die tatsächlichen Entfernungen zwischen den Standorten festgelegt. Offen ist aber, welche Einheit auf welchen Standort gehört. In diesem Fall braucht keine Rasterfläche verwendet zu werden.

Um von einem solchen Ansatz ausgehen zu können, bedarf es einer Modifizierung des Grobplanungsablaufs: Schon vor der Bildung des Verteilungsdiagramms ist zu prüfen, welche Standorte unter Be-

1) Vgl. Angermann (Entscheidungsmodelle) S. 151

rücksichtigung des Flächenbedarfs der Organisationseinheiten überhaupt in Betracht kommen.¹⁾ Nur wenn sich jetzt Alternativen ergeben, braucht man sich über eine optimale Verteilung Gedanken zu machen. Für das vorliegende Beispiel existieren- so wird angenommen- vier alternative Standorte, die gerade immer einer Einheit (A, B, C oder D) Platz bieten.

Die angedeutete Variation des Planungsablaufs lässt sich damit rechtfertigen, dass die Rechenarbeit, die, wie sich zeigen wird, sehr gross ist, sich nur lohnt, wenn die optimale Lösung auch unverändert beibehalten werden kann und nicht beim Anpassungsprozess möglicherweise starken Änderungen unterzogen werden muss.²⁾ Allerdings ist zu beachten, dass die Zurechnungstechnik auch bei unverändertem Grobplanungsablauf anwendbar ist. Dann wird, wie eingangs beschrieben, eine Rasterfläche herangezogen und nach Ermittlung der optimalen Verteilung die erforderliche Anpassung an die räumlichen Gegebenheiten vorgenommen. Nun ist aber wahrscheinlich die Umgestaltung der Optimal-Verteilung nötig, und es erhebt sich die nicht generell beantwortbare Frage, ob der

1) Hier stellt sich die Frage, ob es nicht grundsätzlich zweckmässiger wäre, zu allererst den Flächenbedarf der Einheiten zu ermitteln, dann die aus den räumlichen Gegebenheiten resultierenden zwingend notwendigen Anordnungen vorzunehmen und zuletzt, sofern und soweit Alternativen existieren, nach einer optimalen Verteilung zu suchen. Tatsächlich handelt es sich dabei um eine nützliche Voruntersuchung, die man allgemein den übrigen Planungsarbeiten voranstellen könnte. Allerdings führt das beschriebene Vorgehen nur in dem Sonderfall zu einer Lösung, wenn auf den Teilflächen gerade je eine Anordnungseinheit untergebracht werden kann. Sind die Teilflächen, was sehr oft der Fall sein dürfte, zur Aufnahme mehrerer Einheiten geeignet, so versagt der neue Ansatz. Dann muss entsprechend dem oben entwickelten Grobplanungsablauf vorgegangen werden.

2) Diesem Argument kann entgegengehalten werden, dass es immer von den Gegebenheiten des Einzelfalls abhängt, wie stark die erforderlichen Änderungen der Verteilung bei der Anpassung sind. Über die Vertretbarkeit des Rechenaufwands lässt sich also kein allgemeingültiges Urteil fällen.

grosse Rechenaufwand nicht nutzlos war.

Zur Beschreibung des Optimierungsprozesses wird von zwei gegebenen Matrizen, einer Transportmengenmatrix und einer Entfernungsmatrix, ausgegangen (Abb.19, Abb.20).^{1) 2)}

nach von	A	B	C	D
A	0	5	1	8
B	1	0	6	3
C	2	0	0	7
D	2	9	3	0

Abb. 19 Transport-
mengenmatrix(Beträge
in to)

nach von	I	II	III	IV
I	0	6	4	5
II	6	0	2	3
III	4	2	0	1
IV	5	3	1	0

Abb.20 Entfernungsmatrix
(Beträge in m)

Durch Multiplikation der Einzelmatrizen ergibt sich die aus 16 Submatrizen bestehende Transportkostenmatrix (Gesamtmatrix). Eine einzelne Submatrix veranschaulicht unter der Bedingung, dass eine Werkstatt einem bestimmten Standort zugeordnet ist, die Transportkosten von dieser Werkstatt zu jeder der anderen Werkstätten auf jedem der übrigen Plätze. Die Rücktransportkosten,

1) Vgl. Kern (Optimierungsverfahren) S. 58ff.

2) Der nachfolgend geschilderte Optimierungsprozess spielt sich nach den Regeln des sogenannten Branching and Bounding ab. Hierbei wird die Menge der möglichen Lösungen in Teilprobleme zerlegt, die mit geringem Aufwand (z.B. mit Hilfe der Flood'schen Zurechnungstechnik) lösbar sind. Die Zerlegung entspricht dem Branching (Entstehung einer Baumstruktur), während die Lösungswerte die Bounds darstellen. Ein optimales Resultat ist gefunden, wenn eine zulässige Lösung mit einem optimalen Bound erreicht wird. Vgl. dazu Burckhardt (Optimierung) S. 240.

Ähnliche bzw. identische Ansätze, die sich der Branch and Bound Methode bedienen, finden sich u.a. bei Lawler (Assignment) S. 586ff. sowie bei Gavett und Plyter (Assignment) S. 210ff.

d. h. die Kosten von den anderen Werkstätten zu der fixierten Werkstatt, enthält diese Submatrix aber nicht. Daher müssen, um die gesamten Transportkosten zu erfassen, immer vier Submatrizen in die Berechnung einbezogen werden.

Die Bildung einer Submatrix erfolgt, indem jeder Betrag der entsprechenden Zeile der Mengenmatrix mit jedem Spaltenwert der dazugehörigen Spalte der Entfernungsmatrix multipliziert wird.¹⁾

Die auf diese Weise bestimmten 16 Submatrizen zeigt- zusammengefasst zur Gesamtmatrix- die Abb. 21.²⁾

nach von		I				II				III				IV			
		A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
A	I	(0)	M	M	M	M	30	(6)	48	M	20	(4)	32	M	25	(5)	40
	II	M	30	(6)	48	(0)	M	M	M	M	(10)	2	16	M	(15)	3	24
	III	M	20	4	(32)	M	10	2	(16)	(0)	M	M	M	M	5	1	(8)
	IV	M	(25)	5	40	M	(15)	3	24	M	5	1	(8)	(0)	M	M	M
B	I	M	(0)	M	M	(6)	M	36	18	(4)	M	24	12	(5)	M	30	15
	II	(6)	M	36	18	M	(0)	M	M	2	M	12	(6)	3	M	18	(9)
	III	4	M	(24)	12	2	M	(12)	6	M	(0)	M	M	1	M	(6)	3
	IV	5	M	30	(15)	3	M	18	(9)	1	M	(6)	3	M	(0)	M	M
C	I	M	M	(0)	M	12	(0)	M	12	8	(0)	M	28	10	(0)	M	35
	II	12	(0)	M	42	M	M	(0)	M	(4)	0	M	14	(6)	0	M	21
	III	8	0	M	(28)	4	0	M	(14)	M	M	(0)	M	2	0	M	(7)
	IV	(10)	0	M	35	(6)	0	M	21	2	0	M	(7)	M	M	(0)	M
D	I	M	M	M	(0)	(12)	54	16	M	(8)	36	12	M	(10)	45	15	M
	II	(12)	54	18	M	M	M	M	(0)	4	18	(6)	M	6	27	(9)	M
	III	8	(36)	12	M	4	(18)	6	M	M	M	M	(0)	2	(9)	3	M
	IV	10	45	(15)	M	6	27	(9)	M	2	(9)	3	M	M	M	M	(0)

Abb. 21 Transportkostenmatrix (Gesamtmatrix) (Beträge in DM)

Die Buchstaben M (=Mille) bedeuten ausreichend grosse Beträge, die verhindern sollen, dass unsinnige Kombinationen in die Lösung einbezogen werden. Im Hinblick darauf ist z. B. die Submatrix in der Zelle AI folgendermassen zu interpretieren: Unter der

1) Vgl. Kern (Optimierungsverfahren) S. 58

2) Vgl. Ebenda S. 59

Bedingung, dass Werkstatt A auf dem Standort I fixiert ist, kann A nicht auf den Plätzen II, III oder IV angeordnet werden (M-Spalte); ebenso können die Werkstätten B, C oder D nicht noch auf den Standort I gesetzt werden (M-Zeile). Die Null im Schnittpunkt von M-Zeile und M-Spalte kennzeichnet dagegen eine zulässige Lösung. Sie besagt, dass von einem Standort zum gleichen Standort keine Transportkosten entstehen.

Zur Lösung der Gesamtmatrix sind zunächst die einzelnen Submatrizen gemäss den Rechenregeln der Flood'schen Zurechnungstechnik zu optimieren. Das optimale Ergebnis der Submatrizen ist durch die in Abb.21 eingeklammerten Beträge (Elemente) zu erkennen. Die Optimierung der Submatrizen erfolgt in mehreren aufeinanderfolgenden Schritten, die darauf abzielen, die Matrizen so umzuformen, dass n (= Zahl der Werkstätten) unabhängige Null-Elemente auftreten.¹⁾ Diese kennzeichnen die optimale Zuordnung. Null-Elemente werden als unabhängig bezeichnet, wenn jede Werkstatt nur einem einzigen Standort zugeordnet wird.

Die einzelnen Rechenschritte sind:²⁾

- (1) Das kleinste Element jeder Zeile ist zu bestimmen und von allen Elementen der gleichen Zeile abzuziehen.
- (2) Das kleinste Element jeder Spalte wird ermittelt und von allen Elementen der gleichen Spalte subtrahiert.
- (3) Die kleinste Anzahl (m) von Zeilen und Spalten, die Elemente in Höhe von Null enthalten, ist festzustellen und in der Matrix durch (m) Linien zu kennzeichnen.
 - a) Wenn $m < n$, Übergang zu Schritt (4)
 - b) Wenn $m = n$, Übergang zu Schritt (6)
- (4) Das kleinste nicht gestrichene Element muss bestimmt und von allen nicht gestrichenen Elementen subtrahiert und zu allen Elementen, die im Schnittpunkt von zwei Linien liegen, addiert werden.

1) Vgl. Angermann (Entscheidungsmodelle) S.153ff.

2) Vgl. Sasieni, Yaspan, Friedman (Methoden) S.196ff. und Kern (Optimierungsverfahren) S.54

(5) Schritt (3) ist zu wiederholen.

(6) Es werden n unabhängige Nullen bestimmt.

Anhand der Submatrix A I soll der Rechengang demonstriert werden:

0	M	M	M	0	M	M	M	0	M	M	M
M	30	6	48	M	24	0	42	M	8	0	14
M	20	4	32	M	16	0	28	M	0	0	0
M	25	5	40	M	20	0	35	M	4	0	7

Start.

Schritt(1)

Schritt (2)

0	M	M	M	0	M	M	M	0	M	M	M
M	8	0	14	M	4	0	10	M	4	(0)	10
M	0	0	0	M	0	4	0	M	0	4	(0)
M	4	0	7	M	0	0	3	M	(0)	0	3

Schritt (3)

Schritt (4)

Schritt (5), Schritt (6)

Nach der Optimierung werden die Kostenminima (Kostensummen) der Submatrizen in einer neuen Gesamtmatrix erfasst (Abb.22), die nach den bekannten Regeln der Zurechnungstechnik zu optimieren ist.

	I	II	III	IV
A	63	37	22	28
B	45	27	16	20
C	38	20	11	13
D	63	39	23	28

Abb.22 Gesamtmatrix (aus Abb.21 abgeleitet) (Beträge in DM)

Als Resultat des Rechenprozesses, der hier nicht noch einmal vorgeführt wird, ergeben sich zwei optimale Zuordnungen, für die beide (minimale) Transportkosten in Höhe von 115 DM entstehen:¹⁾

(1) A auf III, B auf I, C auf II, D auf IV

$$22\text{DM} + 45\text{DM} + 20\text{DM} + 28\text{DM} = 115\text{DM}$$

1) Vgl. Kern (Optimierungsverfahren) S. 60f.

(2) A auf III, B auf II, C auf I, D auf IV

$$22\text{DM} + 27\text{DM} + 38\text{DM} + 28\text{DM} = 115\text{DM}$$

Diese Zuordnungen können aber nur dann als endgültige Problemlösung akzeptiert werden, wenn sie mit den optimalen Lösungen innerhalb der betroffenen Submatrizen harmonieren. Ob Harmonie der Gesamtlösung mit den Submatrix-Optima vorliegt, ist schrittweise zu überprüfen.

Zuerst muss untersucht werden, ob das Optimum irgendeiner angesprochenen Submatrix eine der Gesamtlösung entsprechende Zuordnung aufweist. Ist das nicht der Fall, so lässt sich sofort sagen, dass keine Harmonie gegeben ist. Im Beispiel harmoniert aber die Submatrix A III mit der zweiten optimalen Gesamtlösung.

Der zweite Schritt ist praktisch eine Wiederholung des ersten Schrittes, jedoch mit der Einschränkung, dass die Bedingung, durch welche die harmonisierende Submatrix bestimmt ist, erfüllt wird. Das bedeutet, der Standort für die eine Werkstatt gilt als fixiert und nun wird versucht, unter den übrigen Submatrizen eine zu finden, die- bei Berücksichtigung der schon feststehenden Zuordnung der einen Werkstatt- mit der Gesamtlösung harmoniert. Harmonisieren heisst wiederum, die optimale Lösung der Submatrix muss der Zuordnung in der Gesamtlösung entsprechen.

Findet sich eine solche Submatrix, so wird das beschriebene Vorgehen wiederholt, nun aber unter der Annahme, dass bereits die Standorte für zwei Werkstätten bestimmt sind. Eine endgültige Aussage, dass die Gesamtlösung mit den Suboptima verträglich ist (harmoniert), kann erst gemacht werden, wenn auf diese Weise die Zuordnung jeder Werkstatt auf einen Standort möglich war.

Bei dem behandelten Beispiel zeigt sich schon beim zweiten Schritt, dass die Gesamtlösung nicht mit den Ergebnissen in den angesprochenen Submatrizen verträglich ist. Es lässt sich keine Submatrix finden, die unter der Bedingung, dass der Standort III für die Werkstatt A schon feststeht, eine mit der Gesamtlösung

übereinstimmende kostenminimale Zuordnung erlaubt.

Sobald offenbar wird, dass Gesamtlösung und Teillösungen unverträglich sind, müssen die Lösungen in weiteren Iterationsschritten einander angepasst werden. Da diese Anpassung (Harmonisierung) aber im vorliegenden Beispiel einen weiteren erheblichen Rechenaufwand verursacht, soll sie hier nicht geschildert werden.¹⁾

Als Resultat der Harmonisierung ergibt sich die kostenoptimale Zuordnung:²⁾

A auf I, B auf IV, C auf II, D auf III (= 138 DM)

Abschliessend sei noch kurz auf eine Erweiterungsmöglichkeit des erörterten Beispiels eingegangen: Sofern die Installationskosten für jede Werkstatt an jedem alternativen Standort gegeben sind, besteht die Möglichkeit, diese Kosten mit in die Berechnung einzubeziehen. Dann kommt es darauf an, nicht nur isoliert die Transportkosten zu minimieren, sondern das Minimum aus der Summe von Transport- und Installationskosten zu finden. Damit erreicht man eine Annäherung an die aufgestellte allgemeine Zielsetzung nach Minimierung aller beeinflussbarer Kosten.

Rechnerisch lässt sich das Problem lösen, wenn an die Stelle der Null im Schnittpunkt jeder M-Zeile und M-Spalte die zugehörigen Installationskosten eingesetzt werden.³⁾ Es ist zu erwarten, dass die neu ermittelte optimale Lösung vom ersten Optimum (ohne Installationskosten) abweicht.

Im Anschluss an die Ermittlung der optimalen Verteilung kann nun das Raumdiagramm konstruiert werden. Eine Anpassung des Diagramms an die vorhandenen Räumlichkeiten ist jedoch überflüssig, weil im Beispiel ja unterstellt wurde, dass die alternativen Standorte vorgegeben (fixiert) sind.

1) Die Beschreibung des Vorgangs der "Harmonisierung" findet sich bei Kern. Vgl. Kern (Optimierungsverfahren) S. 61ff.

2) Vgl. Ebenda S. 63

3) Vgl. Ebenda

Ansonsten müsste eine Anpassung erfolgen, die zur "Zerstörung" der theoretisch optimalen Verteilung führen könnte.

c) Das Vertauschungsverfahren

Beim Vertauschungsverfahren handelt es sich um ein einfaches Verbesserungsverfahren, das in der Regel nur die Erreichung eines praktischen Optimums gestattet. Das Verfahren besteht darin, von einer beliebigen Anordnung ausgehend, solange jeweils zwei Organisationseinheiten auf ihren Plätzen zu vertauschen, bis sich keine Verbesserungen d.h. Verminderungen der Transportkosten mehr erreichen lassen. Layout-Zielsetzung ist also wieder die Transportkosten-Minimierung.

Von den bisherigen Planungsmethoden hebt sich dieses Verfahren u.a. dadurch ab, dass Lösungsverbesserungen immer durch die sukzessive Vertauschung von nur zwei Plätzen angestrebt werden. Ausserdem ist als Unterscheidungsmerkmal - namentlich im Hinblick auf die klassischen Verfahren- die grössere Systematik des Vorgehens zu betonen, was in einer formelmässigen Erfassung des Lösungsansatzes seinen Ausdruck findet und die Übertragung des Rechenablaufs auf Computer erleichtert. Der Ansatz soll im folgenden erläutert werden.¹⁾

1) Der hier geschilderte Ansatz orientiert sich an dem Vorgehen von Pack, Kiehne und Reiner mann. Vgl. Pack (Raumzuordnung) S. 47ff.; Kiehne (Standortplanung) S. 101ff.; Pack, Kiehne, Reiner mann (Raumform) S. 7ff.

Ausserdem sind bisher aber noch zahlreiche weitere- grössten- teils auf Computerverwendung zugeschnittene- Verfahren ent- wickelt worden, die ebenfalls auf dem Prinzip der Vertauschung von Einheiten basieren. Unterschiede der Methoden ergeben sich u.a. aufgrund der verschiedenen Austauschregeln oder der Wahl der Ausgangslösungen.

Zu den verschiedenen Vertauschungsverfahren siehe z. B. Buffa, Armour, Vollmann (Allocating) S. 136ff.; Hillier (Tools) S. 33ff.; Armour, Buffa (Algorithm) S. 294ff.

Wenn noch keine fixierten (alternativen) Standorte im Fertigungsbereich vorhanden sind, sollte wieder eine Rasterfläche als Hilfsmittel herangezogen werden.¹⁾ Man geht dann davon aus, dass auf dem Raster n (künstlich fixierte) Plätze (Standorte) $P_1, \dots, P_k, \dots, P_n$ existieren, wobei jeder Platz eine Anordnungseinheit aufnehmen kann. Die Anzahl der Einheiten möge derjenigen der Plätze entsprechen. Ansonsten müssten fiktive Einheiten (mit Nullmengen) eingeführt werden.

Die anzuordnenden n Einheiten A, B, C etc. (Werkstätten, Arbeitsplätze) sind fortlaufend durchnummeriert mit $E_1, \dots, E_i, \dots, E_n$. Weiter wird die zwischen zwei Anordnungseinheiten E_i und E_j zu transportierende Menge mit q_{ij} und die Entfernung zwischen den Plätzen P_k und P_m mit d_{km} bezeichnet. Der Einfachheit halber sei wie bisher angenommen, dass d_{km} und d_{mk} übereinstimmen, dass also zwischen zwei Standorten keine verschiedenen langen Transportwege existieren. Die Tabellierung der Entfernungen ergibt dann eine symmetrische (quadratische) Entfernungsmatrix $D = (d_{km})$ für $k, m = 1, \dots, n$.

Hinsichtlich der Transportmengen wird definiert: $q_{ij}^+ = q_{ji}^+ = q_{ij} + q_{ji}$. Auf diese Weise erhält man bei Zusammenfassung der Mengen in einer Tabelle die symmetrische (quadratische) Transportmengenmatrix $Q^+ = (q_{ij}^+)$ für $i, j = 1, \dots, n$. Diese Umformung der Mengenmatrix ist jedoch nicht verfahrenstechnisch bedingt. Sie erfolgt nur deshalb, weil dadurch mitunter eine Reduzierung der Rechenarbeit möglich ist.

Um nun zu einer Ausgangsverteilung zu kommen, die durch Vertauschungen zu verbessern ist, wird jedem Platz P_k , der durch seinen Index k repräsentiert ist, eine Anordnungseinheit E_{i_k} zugeordnet.²⁾ Der Index i_k steht dabei für die Nummer der Einheit,

1) An einem Beispiel wird weiter unten demonstriert, dass das Vertauschungsverfahren auch bei fixierten Standorten und dann unter Verzicht auf eine Rasterfläche ohne weiteres anwendbar ist.

2) Vgl. Pack (Raumzuordnung) S. 48

welche dem Platz k zugewiesen ist. Sind beispielsweise die Einheiten 1 bzw. 2 den Plätzen 11 bzw. 12 zugeordnet, so ist $i_{11} = 1$ und $i_{12} = 2$. Weil sowohl die Anordnungseinheiten als auch die Plätze von 1 bis n durchnummeriert sind, stellen die Indizes $i_1, i_2, \dots, i_k, \dots, i_n$ eine Permutation der Zahlen 1 bis n dar; jede solche Permutation ist als eine mögliche Problemlösung anzusehen.¹⁾ Die Transportkosten zwischen den beiden Plätzen P_k

und P_m einer gegebenen Anordnung betragen: $d_{km} \cdot q_{i_k i_m}^+$.

Dabei kann die Weglänge aus der Entfernungsmatrix D und die Transportmenge aus der Mengenmatrix Q^+ abgelesen werden. Die gesamten Transportkosten (K) einer Verteilung erhält man, wenn die Summe der Kosten für alle Platzpaare gebildet wird. Unter Berücksichtigung der umgeformten Mengenmatrix Q^+ ergibt sich dann:

$$K = \frac{1}{2} \sum_{m=1}^n \sum_{k=1}^n d_{mk} \cdot q_{i_m i_k}^+.$$

Das zur Erinnerung an die Umformung der Mengenmatrix eingeführte Kreuz soll bei der folgenden Schreibweise aus Vereinfachungsgründen wieder wegfallen. Die Berechnung der Transportkosten nach einer Vertauschung könnte nun für jede Anordnung nach der Formel:

$$K = \frac{1}{2} \sum_{m=1}^n \sum_{k=1}^n d_{mk} \cdot q_{i_m i_k}$$

erfolgen. Eleganter und leichter ist es jedoch, nach einer Vertauschung immer nur die Veränderung der Kosten zu ermitteln. Eine derartige Formel soll nachstehend entwickelt werden.²⁾

Für eine einfachere formale Behandlung dieses Vorgangs wird zunächst eine Umnummerierung der Einheiten in Abhängigkeit von

1) Vgl. Pack (Raumzuordnung) S. 48, S. 55

2) Vgl. Kiehne (Standortplanung) S. 102f. und Pack (Raumzuordnung) S. 49

der gerade vorliegenden Anfangsverteilung vorgenommen, indem jede Einheit nach dem Platz bezeichnet wird, den sie gerade einnimmt. Diese Lösung ist durch die Gleichung: $i_k = k$ gekennzeichnet. Die Transportkosten einer solchen Anordnung sind:

$$K = \frac{1}{2} \sum_{m=1}^n \sum_{k=1}^n d_{mk} \cdot q_{mk} .$$

Zwei beliebige Anordnungseinheiten sollen nun vertauscht werden. Ihre Platznummern seien mit r bzw. s ($r < s$) benannt. Durch die Vertauschung von r mit s entsteht als Beschreibung der neuen Anordnung die neue Permutation $(1, \dots, r-1, s, r+1, \dots, s-1, r, s+1, \dots, n)$. Bei einer Berechnung der Transportkosten ändern sich alle Werte, die sich auf eine der beiden Einheiten beziehen. Das kann durch die Aufspaltung der Transportkosten der Anfangsverteilung (K_o) verdeutlicht werden.¹⁾

$$\begin{aligned} K_o = & \frac{1}{2} \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq r, s}}^n \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq r, s}}^n d_{mk} \cdot q_{mk} + \frac{1}{2} \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq r, s}}^n (d_{rk} \cdot q_{rk} + d_{sk} \cdot q_{sk}) \\ & + \frac{1}{2} \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq r, s}}^n (d_{mr} \cdot q_{mr} + d_{ms} \cdot q_{ms}) + \frac{1}{2} d_{rs} \cdot q_{rs} + \frac{1}{2} d_{sr} \cdot q_{sr} . \end{aligned}$$

Infolge der Symmetrie der beiden Matrizen D und Q sind die beiden Einzelsummen über k und m sowie die beiden letzten Summanden gleich gross. Sie können daher zusammengefasst werden:

$$\begin{aligned} K_o = & \frac{1}{2} \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq r, s}}^n \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq r, s}}^n d_{mk} \cdot q_{mk} + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq r, s}}^n (d_{rk} \cdot q_{rk} + d_{sk} \cdot q_{sk}) \\ & + d_{rs} \cdot q_{rs} . \end{aligned}$$

Wenn die Vertauschung der Einheiten E_r und E_s durchgeführt ist, wird auf dem Weg zwischen den Standorten P_r und P_k nicht mehr

1) Vgl. Kiehne (Standortplanung) S. 102

die Menge q_{rk} , sondern, da sich jetzt auf dem Platz P_r die Einheit E_s befindet, die Menge q_{sk} transportiert. Die Transportkosten zwischen den Plätzen r und k betragen dann $d_{rk} \cdot q_{sk}$. Der entsprechende Wert für die Verbindung zu den anderen Plätzen k ist $d_{sk} \cdot q_{rk}$. Die Kosten zwischen den beiden betroffenen Einheiten bleiben aber unverändert mit $d_{rs} \cdot q_{rs}$. Infolgedessen lautet der Ausdruck für die gesamten Transportkosten (K_1) nach der Vertauschung der zwei Einheiten:

$$K_1 = \frac{1}{2} \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq r, s}}^n \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq r, s}}^n d_{mk} \cdot q_{mk} + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq r, s}}^n (d_{rk} \cdot q_{sk} + d_{sk} \cdot q_{rk}) + d_{rs} \cdot q_{rs}.$$

Um Aufschluss darüber zu gewinnen, ob die Vertauschung zu einer Verbesserung der Anordnung geführt hat, ist die Differenz $K_1 - K_0 = K_{\text{Diff.}}^{r, s}$ festzustellen. Dabei fällt der erste und letzte Summand weg, und es ergibt sich:¹⁾

$$K_{\text{Diff.}}^{r, s} = \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq r, s}}^n (d_{rk} \cdot q_{sk} + d_{sk} \cdot q_{rk} - d_{rk} \cdot q_{rk} - d_{sk} \cdot q_{sk}).$$

$$K_{\text{Diff.}}^{r, s} = \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq r, s}}^n (d_{rk} - d_{sk}) \cdot (q_{sk} - q_{rk}).$$

Diese Formel ist das Fundament, auf welchem das Vertauschungsverfahren basiert. Wenn sich hier ein negativer Wert ergibt, so wird damit dokumentiert, dass durch die Vertauschung zweier Einheiten die Transportkosten gesenkt werden können.

Nun gibt es aber $n(n-1)/2$ Möglichkeiten, eine vorliegende Verteilung durch die Vertauschung von zwei Einheiten zu verändern. Daher können auch ebensoviele Kostendifferenzen ermittelt werden. Von den $n(n-1)/2$ möglichen Vertauschungen ist dann dieje-

1) Vgl. Kiehne (Standortplanung) S.103

nige zu realisieren, bei der sich die grösste negative Differenz ergibt.¹⁾ Das geschieht von neuem für jede durch eine Vertauschung gewonnene Anordnung bis keine Lösungsverbesserung mehr erzielt werden kann.

An einem kleinen Beispiel soll dieses Vorgehen erläutert werden.²⁾ Dabei gilt wieder die Vereinfachung, dass die alternativen Standorte im Fertigungsbereich schon feststehen. Daher kann die ermittelte optimale Verteilung bei der Anpassung an die räumlichen Verhältnisse unverändert bleiben.

Es mögen sechs fixierte (alternative) Standorte I-VI zur Anordnung von sechs Einheiten A-F zur Verfügung stehen. Die Entfernungen zwischen den Plätzen sind bekannt und in der D-Matrix angeführt (Abb.23). Wenn die Entfernung 1, die auf allen Wegen mindestens zurückgelegt werden muss, von allen übrigen Distanzen subtrahiert wird, erhält man eine reduzierte Entfernungsmatrix (Abb.24).³⁾

nach von	I	II	III	IV	V	VI
I	0	2	5	1	3	6
II	2	0	3	3	1	4
III	5	3	0	6	4	1
IV	1	3	6	0	2	5
V	3	1	4	2	0	3
VI	6	4	1	5	3	0

Abb. 23 Entfernungsmatrix D
(Beträge in m)

nach von	I	II	III	IV	V	VI
I	0	1	4	0	2	5
II	1	0	2	2	0	3
III	4	2	0	5	3	0
IV	0	2	5	0	1	4
V	2	0	3	1	0	2
VI	5	3	0	4	2	0

Abb. 24 Reduzierte Entfernungsmatrix
(Beträge in m)

1) Eine interessante Variante des Vertauschungsverfahrens besteht darin, gleich die erste vorteilhafte Vertauschung zu verwirklichen und dann ausgehend von der neuen Verteilung wiederum Vertauschungen zu überprüfen bis sich der erste negative Differenzbetrag ergibt, der zur zweiten Vertauschung führt etc. Auf diese Weise kann mitunter eine beachtliche Verminderung des Rechenaufwands erreicht werden. Vgl. dazu Kiehne (Standortplanung) S. 108, S. 125ff.

2) Vgl. dazu auch Pack (Raumzuordnung) S. 50ff.

3) Zum Zahlenmaterial in Abb. 23 und Abb. 24 vgl. Pack (Raumzuordnung) S. 51

Die zwischen den Anordnungseinheiten zu transportierenden Mengen enthält die symmetrische Mengenmatrix Q (Abb. 25).¹⁾

nach von ↓	A	B	C	D	E	F
A	0	12	1	16	1	0
B	12	0	10	14	1	1
C	1	10	0	2	0	0
D	16	14	2	0	7	2
E	1	1	0	7	0	21
F	0	1	0	2	21	0

Abb. 25 Mengenmatrix Q (Beträge in to)

Die Ausgangsverteilung möge durch folgende Zuordnungen gekennzeichnet sein:

A auf I, B auf II, C auf III, D auf IV, E auf V, D auf VI.

Die Transportkosten dieser Anordnung betragen $K_0 = 136$ DM.

Die Ermittlung dieses Wertes kann nach der oben gezeigten Formel für K_0 oder auch unter Vernachlässigung der Rücktransporte (die hier ebenso gross wie die Vorwärtstransporte sind) vorgenommen werden. Im zweiten Fall ergeben sich für die (Vorwärts-) Transporte von je einer Einheit zu allen übrigen Einheiten bei Heranziehung der Tabellen 24 und 25:

18 (von A), 51 (von B), 10 (von C), 15 (von D), 42 (von E), 0 (von F) also insgesamt 136 (DM).

Allerdings ist die Berechnung von K_0 nicht unbedingt erforderlich, weil es hauptsächlich darauf ankommt, die aus der Vertauschung von zwei Einheiten resultierenden Kostenveränderungen festzustellen. Bei mehreren Vertauschungschancen bestimmt die grösste negative Differenz, welcher Wechsel vorzunehmen ist.

1) Die Mengenmatrix wurde vorher in eine symmetrische Matrix umgeformt. Zum Zahlenmaterial in Abb. 25 Vgl. Pack (Raumzuordnung) S. 50

Im Beispiel führt die Vertauschung der Einheiten auf den Plätzen III und V (Wechsel von C und E) zum günstigsten Ergebnis.¹⁾ Die Berechnung von $K_{\text{Diff.}}^{3,5}$ erfolgt nach der bekannten Differenzenformel:

$$K_{\text{Diff.}}^{r,s} = \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq r,s}}^n (d_{rk} - d_{sk}) \cdot (q_{sk} - q_{rk})$$

Für $K_{\text{Diff.}}^{3,5}$ ergibt sich dann:

$$\begin{array}{rcl} (4-2) \cdot (1-1) & = & 0 \\ (2-0) \cdot (1-10) & = & -18 \\ (5-1) \cdot (7-2) & = & +20 \\ (0-2) \cdot (21-0) & = & -42 \\ \hline & & -40 \\ \hline \end{array}$$

Die aus der Vertauschung von C und E resultierende Kostensenkung beträgt also 40 DM. Die gesamten Transportkosten belaufen sich nun auf $K_1 = 96$ DM.

Die Berechnung der $n(n-1)/2$ möglichen Vertauschungsdifferenzen soll nachfolgend als Iteration bezeichnet werden. Für das erörterte Beispiel können noch drei Iterationen erfolgen, die immer noch eine Verbesserung der jeweiligen Verteilung erlauben.

In der zweiten Iteration ergibt sich durch Vertauschung der Einheiten B und D auf den Plätzen II und IV die grösste negative Differenz mit -7, während bei der dritten und vierten Iteration die besten Werte für $K_{\text{Diff.}}^{1,5} = -13$ bzw. für $K_{\text{Diff.}}^{1,4} = -1$ entstehen.²⁾

1) Vgl. Pack (Raumzuordnung) S. 51. Der von Pack auch für $K_{\text{Diff.}}^{1,2}$ mit -16 angegebene Wert stimmt jedoch nicht. Tatsächlich beträgt $K_{\text{Diff.}}^{1,2} = +24$. Infolgedessen ist auch die Schlussfolgerung Packs, schon der Tausch von A und B würde zu einer Kostenminderung führen, unrichtig.

2) Vgl. Pack (Raumzuordnung) S. 52

Die endgültige Lösung mit Kosten von 75 DM (136-40-7-13-1) ist daher die Verteilung:

B auf I, D auf II, E auf III, C auf IV, A auf V, F auf VI.

Dieses Ergebnis lässt sich nicht mehr durch die Vertauschung von Anordnungseinheiten günstiger gestalten, negative Differenzbeträge treten also nicht mehr auf. Es muss aber daran erinnert werden, dass es sich hier regelmässig nicht um das theoretische, sondern nur um ein praktisches Optimum handelt. Bessere Resultate sind immer noch möglich, wenn man den beschriebenen Rechenprozess mit einer anderen Ausgangsverteilung beginnt.

Allerdings ist die Rechenarbeit, wie sich ja zeigte, schon bei der Durchführung eines Rechenganges, d.h. einer Folge von Iterationen, recht erheblich. Es ergibt sich daher wieder das Problem, dass die Kosten für den zweiten Rechengang höher als die (eventuelle) Transportkostensenkung sein können.¹⁾ Bei einer Übertragung des Rechenablaufs auf Computer kann zwar Zeit eingespart werden, trotzdem bleibt die nur ex post beantwortbare Frage, ob die erzielten Kostenminderungen nicht durch die Kosten für Programmierung und Miete des Rechners überkompensiert werden.

Nach der Berechnung des (praktisch) optimalen Verteilungsdiagramms wird wieder die Bildung des Raumdiagramms aktuell. Sofern - was häufig der Fall ist - keine Standorte fest vorgegeben sind, muss das Diagramm dann an die betrieblichen Raumverhältnisse angepasst werden. Solange eine ungeteilte Gesamtfläche in geeigneter geometrischer Form vorliegt, ist der letzte Schritt unproblematisch. Andernfalls aber müssen Anordnungsgruppen konstruiert werden, was gerade bei grösseren Verteilungsproblemen erhebliche Schwierigkeiten bereiten kann. Daher soll im näch-

1) Obwohl dieses Problem auch schon beim ersten Rechengang (bei allen Verfahren!) existiert, ist es doch bei weiteren Rechenarbeiten umso aktueller, weil angenommen wird, dass die Lösungsverbesserungen zunehmend kleiner ausfallen.

sten Punkt eine Methode gezeigt werden, mit der dieses Problem, das ja auch bei den anderen Verfahren existiert, relativ gut gelöst werden kann.

d) Die Kontraktionsmethode

In ihrer ursprünglichen Ausrichtung soll die Kontraktionsmethode¹⁾ ebenso wie die anderen Grobplanungsverfahren "nur" zu einer möglichst guten Verteilung der Anordnungseinheiten führen. Es wird sich jedoch zeigen, dass ihre besondere Bedeutung in der Herausbildung von Gruppen bei schon gegebenen optimalen Zuordnungen liegt. Unabhängig davon, ob eine optimale oder eine beliebige Verteilung als Ausgangsbasis dient, ist die Durchführung der Kontraktionsmethode in beiden Fällen gleich. Unterschiede werden jedoch hinsichtlich der Ergebnisse zu beobachten sein.

Zunächst zum Ursprungskonzept.²⁾ Die Einheiten werden als erstes zufällig auf einer Fläche angeordnet, die aber keine Rastereinteilung aufzuweisen braucht. Dann wird jeweils ein Paar von Einheiten mit Hilfe von Zufallszahlen ausgewählt. Dabei muss gewährleistet sein, dass die Auswahlwahrscheinlichkeit umso grösser ist, je wichtiger die Transportbeziehungen zwischen zwei Einheiten sind.

1) Der Begriff "Kontraktionsmethode" stammt von Kiehne. Vgl. Kiehne (Standortplanung) S. 206. Entwickelt wurde das Verfahren aber von Ahrens. Allerdings wurde das Vortragsmanuskript, in welchem Ahrens das Verfahren schildert und auf welches Kiehne zurückgreift, nicht veröffentlicht. Von Ahrens selbst liegt (in Zusammenarbeit mit Gaschütz) lediglich ein Beitrag im Naval Research Logistics Quarterly vor, der jedoch die Kontraktionsmethode nur ansatzweise aufzeigt. Vgl. dazu Gaschütz und Ahrens (Assignment) S. 49 ff. Daher muss im folgenden auch auf die Ausführungen von Kiehne Bezug genommen werden.

2) Vgl. Ahrens (Unternehmensforschung) S. 3 ff. Zitiert nach Kiehne (Standortplanung) S. 206.

Praktisch könnte das geschehen, indem die Transportbeziehungen zweier Einheiten durch eine Zahl gekennzeichnet und von dieser Zahl umso mehr in eine Gesamtheit von "Kennzeichnungszahlen" aufgenommen werden, je grösser die Transportmengen zwischen zwei Einheiten sind.

Im nächsten Schritt wird die Verbindungsstrecke des ausgewählten Paares in der gerade vorliegenden Anordnung um einen festen Prozentsatz verkürzt, indem beide Einheiten um die gleiche Strecke aufeinander zu verschoben werden. Diese Zusammenziehungen (Kontraktionen) sind so oft durchzuführen, bis deutlich eine Gliederung in der Anordnung der Einheiten sichtbar wird. Wenn die erzielte Lösung keine ausgeprägte Gruppenstruktur (Zusammenballungen mehrerer Einheiten) ausweist, empfiehlt es sich, die erste Lösung wieder "auseinanderzuschütteln" und das ganze Verfahren auf diese und vielleicht auch die nächste Lösung erneut anzuwenden bis ein befriedigendes Resultat eintritt. ¹⁾

Ein Vorgehen nach der erörterten Methode kann aber zu der Schwierigkeit führen, dass auch nach mehrmaligem Versuchen keine einzelnen Anordnungsgruppen erkennbar werden, sondern vielmehr alle Einheiten in einem Punkt oder einem kleinen räumlichen Bereich zusammenfallen. Das mag die folgende Überlegung klarstellen:

Bei beliebigen (d. h. nicht bereits optimierten) Ausgangsverteilungen, die ja zunächst zur Debatte stehen, werden die Einheiten mit wichtigen Transportbeziehungen wahrscheinlich nicht nebeneinander, sondern eher in etwa gleichmässig über die ganze Anordnungsfläche verstreut liegen. Derartige Verteilungen werden aber nach erfolgter Kontraktion mit grosser Wahrscheinlichkeit immer wieder eine einzige nur wenig differenzierbare Gruppe darstellen.

1) Vgl. Ahrens (Unternehmensforschung) S. 6, zitiert nach Kiehne (Standortplanung) S. 207. Vgl. auch Gaschütz und Ahrens (Assignment) S. 51 f.

In diesem Fall wird auch die Verminderung der Kontraktionen häufig keinen Ausweg darstellen, weil bei weniger Zusammenziehungen die Gruppenstruktur noch nicht deutlich genug ist. Aus diesem Grunde kann der Kontraktionsmethode, sofern sie bei beliebigen Ausgangsverteilungen ansetzt, nur ein begrenzter Wert zugebilligt werden.

Einen ganz anderen Effekt können die Zusammenziehungen haben, wenn eine gute Ausgangslösung zur Verfügung steht, in der die Gruppenstruktur schon vorhanden aber noch nicht sichtbar ist. Nun werden für jede Gruppe, je nach den intern zu transportierenden Mengen mehr oder weniger Kontraktionen durchgeführt. Dabei bewegen sich die einzelnen Anordnungseinheiten in Richtung auf ihr jeweiliges Gruppenzentrum hin und zugleich rücken die Zentren, wenn auch infolge der relativ schwachen Transportbeziehungen zwischen ihnen nur wenig, aufeinander zu.¹⁾ Wenn die Gruppenzentren der Ausgangsverteilung weit genug voneinander entfernt sind, stellt die Kontraktionsmethode deshalb ein gutes Verfahren dar, schon bestehende Gruppierungen deutlich hervortreten zu lassen. Gerade das ist aber das wesentliche Anliegen, welches an diese Methode gerichtet wurde.

An einem Beispiel soll nun demonstriert werden, wann die Kontraktionsmethode nutzbringend angewendet werden kann, aber auch, welche Probleme bei ihrer Durchführung entstehen.

Als Grundlage für das Beispiel dienen die Angaben, die beim Dreieckverfahren und bei der Kreismethode relevant waren.²⁾

Es geht also um die Anordnung von vierzehn Einheiten A - N, deren Transportbeziehungen bekannt sind. Ergänzend wird angenommen, dass ein leerstehendes Betriebsgebäude mit drei übereinanderliegenden etwa gleich grossen Anordnungsflächen (Erdgeschoss, 1. Stock, 2. Stock) gegeben ist, welches die vierzehn Einheiten gerade aufnehmen kann. Layout-Zielsetzung ist die Trans-

1) Vgl. Kiehne (Standortplanung) S. 215

2) Vgl. III C 2b) und III C 3a)

portkosten-Minimierung.

Zuerst wird mit einem der geschilderten Grobplanungsverfahren, im Beispiel mit dem Dreieckverfahren, ein optimales Verteilungsdiagramm entwickelt.¹⁾ Daran schliesst sich die Ausarbeitung des Raumdiagramms an. Zeigt sich beim Versuch der Anpassung des Raumdiagramms an die räumlichen Gegebenheiten, dass dies nicht ohne beträchtliche Umstellungen möglich ist, wo wird, wie das auch für das Beispiel zutreffen möge, eine Gruppenbildung erforderlich.

Nun stellt sich die praktische Frage, wie gross die Gesamtheit der Kennzeichnungszahlen sowie die Zahl der Kontraktionsvorgänge sein muss, damit die Auswahlwahrscheinlichkeit auch wirklich für jedes Paar der zu ihm gehörenden Transportstärke proportional ist. Allgemein lässt sich hierzu sagen, dass es relativ grosser Zahlen bedarf, wenn das "Gesetz der Wahrscheinlichkeit" wirksam werden soll. Auf eine genaue Berechnung wird aber verzichtet.

Im vorliegenden Fall wurde eine (recht kleine) Zahlengesamtheit von 130 Kennzeichnungszahlen verwendet. Dazu kommt man, wenn für eine Transportmenge von 20 (to) zwischen zwei Einheiten gerade eine Kennzeichnungszahl in die Gesamtheit aufgenommen wird. Bei Transporten, die nicht genau ein Vielfaches von 20 (to) ausmachen, wurde ab 10 (to) einschliesslich aufgerundet. Für den Transport B K (50 to) gingen also z.B. drei Kennzeichnungszahlen gleicher Grösse in die Zahlengesamtheit ein.

Nach Festlegung der Zahlengesamtheit erfolgte die Ermittlung der Zufallszahlen. Jede gezogene Zahl führte zu einer Kontraktion der Verbindungsstrecke des betreffenden Paares um 20 % (jeweils 10 % an den Streckenenden). Als Ausgangsverteilung fungierte die mit Hilfe des Dreieckverfahrens gewonnene optimale Anordnung.²⁾

1) Eine Ausnahme bildet die Kreismethode. Dort erübrigt sich die Anwendung der Kontraktionsmethode, weil das Verteilungsdiagramm bereits Gruppenstrukturen ausweist.

2) Vgl. III C 2b)

Die Seitenlänge eines (gleichseitigen) Dreiecks im Dreieckraster wurde mit 3 cm angenommen. Insgesamt erfolgten siebzig Kontraktionen.¹⁾ Das dadurch gewonnene Ergebnis zeigt bereits andeutungsweise die Zusammenballung der Einheiten zu einzelnen Gruppen (Abb. 26).

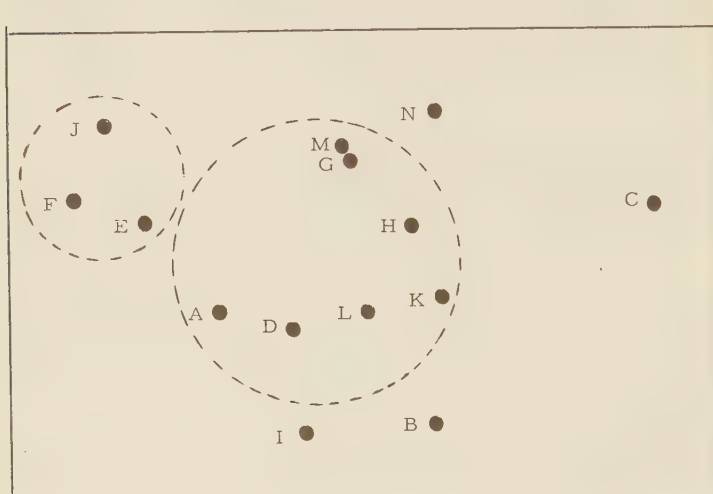


Abb. 26 Verteilungsdiagramm nach siebzig Kontraktionen

(Die gestrichelten Linien dienen der Hervorhebung möglicher Anordnungsgruppen)

Nun besteht aber, da im Beispiel die Zahlengesamtheit ebenso wie die Anzahl der Kontraktionen ziemlich klein ist, noch die Möglichkeit, dass die sich andeutenden Gruppierungen nur zufallsbedingt sind. Aus diesem Grunde wurde der oben beschriebene Vorgang in fast gleicher Weise wiederholt. Der einzige Unterschied lag darin, dass diesmal nicht siebzig sondern einhundert Kontraktionen durchzuführen waren. Die neue Verteilung unterscheidet sich je-

1) Die praktische Durchführung der Kontraktionen ist recht kompliziert, weil nach jeder Zusammenziehung die alten Standorte "ausradiert" werden müssen. Namentlich bei nur kleinen Standortveränderungen bedingt das ein sehr sorgfältiges Vorgehen.

doch kaum vom ersten Resultat (Abb. 27).

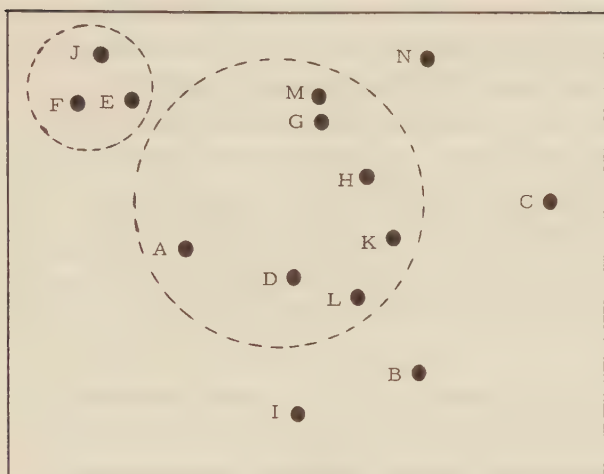


Abb. 27 Verteilungsdiagramm nach einhundert Kontraktionen

Dieses neue Ergebnis lässt den Schluss zu, dass sich auch bei grösseren Zahlengesamtheiten und noch mehr Kontraktionen, die ermittelte Verteilung (dann allerdings noch deutlicher) bestätigen würde. Bemerkenswert ist auch die Ähnlichkeit dieser Anordnung mit der aufgrund der Kreismethode ermittelten Verteilung.¹⁾

Dort gehören jedoch, anders als hier, auch noch die Einheiten F, E, J mit zur Kerngruppe (alle weiteren Einheiten ausser I, B, C, N). Diese Zugehörigkeit ist jedoch weder notwendig noch verfahrensbedingt. Das wird verständlich, wenn man berücksichtigt, dass die Gruppe F, E, J beliebig um A drehbar ist, weil sie allein mit A Transportbeziehungen unterhält. Die Nachbarschaft der Gruppe mit M und G ist daher nicht erforderlich.

1) Vgl. III C 3a)

Nun ist noch zu untersuchen, wie die Anordnungseinheiten auf die gleich grossen Partialflächen zu verteilen sind. Am günstigsten wäre es, wenn die gesamte Kerngruppe auf einer einzigen Teilfläche untergebracht werden könnte. Dafür wäre besonders das Erdgeschoss geeignet, weil so vermieden wird, dass die grossen Transportmengen innerhalb der Kerngruppe immer erst in die erste oder zweite Etage und zurück befördert werden müssen. Obwohl diese Massnahme sich nicht zwingend aus den im Beispiel gegebenen Transportbeziehungen ableiten lässt, erscheint sie doch zweckmässig, weil dadurch die für den Fertigungsbereich anfallenden An- und Abtransporte erleichtert werden dürften.

Für die Anordnung der Gruppe F, E, J sollte, sofern möglich, das 1. Stockwerk und für die übrigen Einheiten I, B, C, N der 2. Stock reserviert werden. Das empfiehlt sich, weil zwischen der Kerngruppe und F, E, J aber auch innerhalb der Gruppe F, E, J relativ wichtige Transportverbindungen bestehen, während die Randeinheiten I, B, C, N nur geringe interne und externe Kontakte haben.

Es ist allerdings sehr fraglich, ob die vorgeschlagene Verteilung der Gruppen raummässig überhaupt möglich ist. Geht man von einem etwa gleichen Flächenbedarf der Anordnungseinheiten aus, so ist vielmehr die Trennung der Kerngruppe unvermeidlich. Dieser Fall soll anschliessend diskutiert werden.

Bei Berücksichtigung der starken Transporte zwischen A und E, F einerseits sowie zwischen A und D andererseits aber auch zwischen J und E, F ¹⁾ erscheint es sinnvoll, die fünf Einheiten A, D, F, E, J zusammenzufassen und auf einer Teilfläche anzuordnen. Weiterhin sollten die Kerngruppen-Restkomponenten M, G, H, K, L auf die zweite Teilfläche und die Randeinheiten I, B, C, N auf die dritte Partialfläche gelegt werden.

1) Vgl. dazu auch III C 2b)

Welche Etagen den neu geschaffenen "Gruppen" zuzuweisen sind, richtet sich wieder nach der Transportstärke zwischen den "Gruppen" aber auch nach dem Gesichtspunkt des An- und Abtransports im Betrieb. Daher kommt für die Rest-Kerngruppe M, G, H, K, L das Erdgeschoss, für die "Fünfer-Gruppe" A, D, F, E, J der 1. Stock und für die Randeinheiten I, B, C, N das 2. Stockwerk in Betracht.

Wenn diese Verteilung räumlich realisierbar ist, bleibt trotz der Trennung der wichtigen Verbindungen A G und D L noch ein befriedigendes Resultat bestehen, weil immer noch ein grosser Teil der starken Transportbeziehungen auf relativ kurzen Wegen erfolgen kann. Trotzdem lässt sich aber nicht leugnen, dass bei Gruppentrennungen grundsätzlich eine deutliche Erhöhung der Transportkosten zu verzeichnen sein wird.

Abschliessend erhebt sich die Frage, ob die bei der Kontraktion gewonnene zusätzliche Information den erforderlichen Aufwand rechtfertigt.¹⁾ Obwohl hierauf wieder keine eindeutige Antwort möglich ist, erscheint doch die Vermutung angebracht, dass sich die Anwendung der Kontraktionsmethode meistens lohnen wird.

Wenn man sich nämlich schon mit einem anderen Verfahren um die Ermittlung des optimalen Verteilungsdiagramms bemüht hat, geht es nun doch darum, diese Verteilung auch möglichst gut in die Realität umzusetzen. Wird aber auf die Kontraktionsmethode verzichtet, so besteht die unmittelbare Gefahr der völligen Zerstörung der optimalen Verteilung, weil die Gruppierungen der Einheiten nur unzulänglich überschaubar sind.

1) Die Frage stellt sich natürlich nur dann, wenn die im Raumdiagramm gegebene Verteilung nicht auch schon ohne die Bildung von Anordnungsgruppen den räumlichen Gegebenheiten ohne weiteres angepasst werden kann.

D. Die Layout-Feinplanung

Aufgabe der Layout-Feinplanung ist es, ausgehend vom jeweils vorliegenden Grobplan, die bisher vernachlässigten Layout-Details sichtbar zu machen und möglichst gut anzuordnen. Dabei kommt es, wie sich zeigen wird, nicht mehr allein auf die Transportkosten, sondern auch auf andere Gesichtspunkte wie die Übersichtlichkeit der Anordnung oder die Anpassung der Anordnung an einen ökonomischen Bewegungsablauf an.¹⁾

Darüber hinaus muss die Höhe der Einrichtungen und Gebäude mit in die Betrachtung einbezogen werden. Schon allein dadurch können erhebliche Abweichungen von den im Rahmen der Grobplanung entwickelten transportkostenoptimalen Verteilungen erforderlich werden. Unterstellt man aber einmal, dass von der Höhe keine Beschränkungen ausgehen, so kann die Erledigung der Feinplanung in drei Phasen erfolgen.

In der ersten Phase werden die Einzelheiten der Anordnungseinheiten des vorliegenden Layout-Grobplans mit geeigneten Darstellungsmitteln verdeutlicht. Nun zeigt sich, aus wievielen (gleichartigen) Arbeitsplätzen eine Anordnungseinheit und aus welchen Komponenten ein einzelner Arbeitsplatz besteht.

Mit der Darstellung der Einzelheiten wie Maschinen, Werkbänken, Tischen, Regalen, Bedienungspersonal etc. treten zugleich die freien Flächen hervor, die bei der Festlegung des Flächenbedarfs pro Anordnungseinheit (bzw. pro Arbeitsplatz) für Gebäudesäulen, Transportwege etc. einkalkuliert wurden. Hinsichtlich der Wegeführung zwischen den Anordnungseinheiten ist zu sagen, dass diese durch die Grobplanung feststeht. Dagegen existieren "innerhalb" einer Anordnungseinheit, sofern es sich dabei um eine Gruppe

1) Die Beurteilung inwieweit eine Verteilung derartigen Gesichtspunkten entspricht, sollte wieder möglichst anhand von Kostengrößen (z. B. Kontrollkosten, Kosten pro Arbeitsgang etc.) erfolgen.

funktionsgleicher Arbeitsplätze handelt, noch Freiheitsgrade.

Die zweite Phase ist nur aktuell, wenn Einheiten mehrere Arbeitsplätze umfassen. Hier liegt der typische Fall der Werkstattfertigung vor, und es geht um die Anordnung der gleichartigen Arbeitsplätze in der Werkstatt.

Die dritte und letzte Phase befasst sich mit der Arbeitsplatzgestaltung.

1. Die Layout-Darstellungsmittel

Das Aufzeigen der Layout-Details durch die Darstellungsmittel Zeichnung, Schablone und dreidimensionales Modell bildet die Voraussetzung für die Durchführung der Werkstatt-Einrichtung und der Arbeitsplatzgestaltung. Denn diese Darstellungsmittel dienen der versuchsweisen Vornahme von Drehungen und Verschiebungen der Layout-Details, was schliesslich zu einem guten Detailplan führen soll.¹⁾ Das Ausprobieren neuer Anordnungen mittels Zeichnungen, Schablonen und dreidimensionalen Modellen stellt einen wesentlichen Aspekt der Layout-Feinplanung dar.

a) Die Zeichnungen

Wie bei der Grobplanung kann die Zeichnung auch bei der Feinplanung ein ausreichendes Darstellungsverfahren sein. Drei Arten von Zeichnungen finden verbreitet Anwendung:²⁾

- (1) Die Grundrisszeichnung
- (2) Die Aufrisszeichnung
- (3) Die perspektivische Zeichnung

1) Die Veränderungen dürfen aber nicht zur Abwandlung der bei der Grobplanung ermittelten Anordnung führen. Sie können nur innerhalb des für eine Anordnungseinheit bestimmten Flächenstückes erfolgen und müssen sich daher in engen Grenzen bewegen.

2) Vgl. Schmidt (Standort) S.244

Dadurch kann Übersicht gewonnen werden über die horizontale, die vertikale und die räumliche Anordnung der Einrichtungsgegenstände. Die häufigste und einfachste Darstellungsmethode ist die Grundrisszeichnung. Den besten Überblick dürfte dagegen die perspektivische Zeichnung gewähren. Sie erleichtert es nämlich, auch die Höhe als dritte Dimension zu veranschaulichen. Das wird besonders dann notwendig, wenn in einer Halle mehrere "Anordnungsebenen" (z. B. an der Decke angebrachte Fördereinrichtungen und auf dem Fussboden stehende Maschinen) existieren.

Ausser Perspektiv-Zeichnungen kann in derartigen Situationen auch das Übereinanderlegen von mehreren durchsichtigen Zeichenbögen Abhilfe schaffen.¹⁾ In diesem Fall werden die einzelnen Bögen als Anordnungsebenen betrachtet und die dort vorhandenen Einrichtungen eingezeichnet. Beim Aufeinanderlegen der transparenten Bögen zeigt sich, in welchem Verhältnis sich die Anlagen auf den verschiedenen Ebenen zueinander befinden und ob Drehungen von Arbeitsplätzen oder Verschiebungen von Arbeitsplatzkomponenten zweckmässig sind.

Für alle Zeichnungsarten aber gilt, dass sie im allgemeinen nicht so gut wie Schablonen oder dreidimensionale Modelle zur Layout-Darstellung geeignet sind. Vorteilhaft ist zwar, dass Zeichnungskopien schnell und in grosser Zahl angefertigt werden können, auf der anderen Seite müssen aber die relativ langen Zeiten bei Zeichnungsänderungen berücksichtigt werden. Gerade die Änderung von Zeichnungen ist aber oft notwendig, weil bei der Feinplanung- unter Beachtung der im Rahmen der Grobplanung erstellten Verteilung- immer wieder Verschiebungen von Layout-Details vorgenommen werden, um die beste detaillierte Anordnung auszuprobieren.

1) Vgl. Muther (Layout) S. 226

b) Die Schablonen

Schablonen sind ausgeschnittene und gekennzeichnete Plättchen des Grundrisses von Einrichtungen (Grundrissausschnitte), die der flächenmässigen Darstellung von Layout-Details dienen. Mehrere Arten von Schablonen können unterschieden werden: ¹⁾ ²⁾

- (1) Rechtecke gemäss der grössten Länge und Breite der Einrichtungen.
- (2) Exakte Umrisse des Grundrisses der Einrichtungen.
- (3) Ausgeschnittene Fotografien von Anlagen aus der Vogelschau.
- (4) Grundrissausschnitte, die schraffiert auch die Flächen enthalten, welche der Arbeiter zur Bedienung der Maschinen beansprucht.

Zur Anfertigung der Schablonen müssen (mit Ausnahme von Fotografien) die Grundmasse der Einrichtungen ermittelt und auf ein festes Material z. B. Pappe, Sperrholz, Plastik übertragen werden.

Diese Figuren werden dann ausgeschnitten und zur Darstellung der Betriebseinrichtungen verwendet. Auf den Ausschnitten, die zur besseren Kennzeichnung bestimmter Anlagengruppen verschiedenfarbig sein können, lassen sich auch relevante Layout-Daten (z.B. bei Maschinen die Typbezeichnung, die Höhe, das Gewicht) vermerken. Die Verteilung der Schablonen erfolgt auf einem Grundrissplan des Betriebes.

Die wichtigsten Vorteile des Schablonenverfahrens liegen in der wiederholten Verwendbarkeit der Schablonen, in der Möglichkeit, Änderungen schnell durchführen zu können sowie in den geringen Kosten dieser Darstellungsmethode. Für einen ideenreichen Planer eröffnet das Verfahren den Weg, eine Vielzahl von alternativen Detail-Anordnungen in kurzer Zeit durchzuspielen.

1) Vgl. Buser (Anordnung) S. 94

2) Eine grosse Zahl von Beispielen für verschiedene Schablonenarten findet sich zum Beispiel bei Moore (Layout) S. 530 ff. und Apple (Layout) S. 340 ff.

Eine Vorstellung vom Aussehen einer Schablonen-Anordnung vermittelt die Abb. 28. Hierbei handelt es sich um einen Layout-Ausschnitt, der eine (kurze) Produktionsstrasse darstellt.

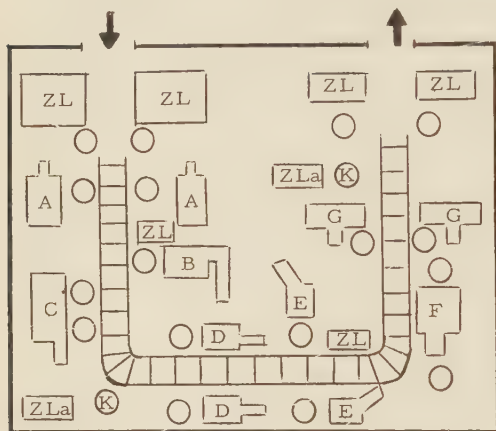


Abb. 28 Schablonen-Darstellung

	Förderband	A, B, C, . . . ,	Maschinen
	Arbeiter		Zwischenlager
	Kontrolleur		Ausschuss, Nacharbeit

Negativ ist jedoch die Tatsache einzuschätzen, dass sich Schablonen ebenso wie Zeichnungen primär nur zur flächenmässigen Layout-Abbildung eignen.

c) Die dreidimensionalen Modelle

Der Einsatz des Modellverfahrens erlaubt es, den gesamten Fertigungsbereich dreidimensional abzubilden und Änderungen der Anordnung schnell und plastisch zu verdeutlichen. Das Miniatur-Modell gestattet dem Layout-Fachmann daher ebenso wie dem Laien einen hervorragenden Einblick in die Anordnung der Betriebseinrichtungen. Gerade in Fertigungsbereichen mit vielen Überkopfeinrichtungen dient die dreidimensionale Darstellung oft als endgültiger Prüfstein, ob bei der Layout-Planung alle entscheidenden

Faktoren beachtet worden sind.¹⁾

Die Modelle der Layout-Details werden z. B. aus Papier, Holz, Plastik oder Metall angefertigt und können entweder im eigenen Betrieb hergestellt oder von anderen speziell damit befassten Unternehmen gekauft werden. Je nach dem wie genau die Nachbildungen sind, entstehen geringere oder höhere Kosten. Standard-Modelle von recht genau nachgebildeten Maschinen kosten durchschnittlich 8-15 DM.²⁾ Für mehrere hundert oder tausend Einzelmodelle können also erhebliche Anschaffungskosten entstehen.

Ein Beispiel für einen Layout-Ausschnitt mit recht realitätsnahen Modellen zeigt die Abbildung 29.³⁾

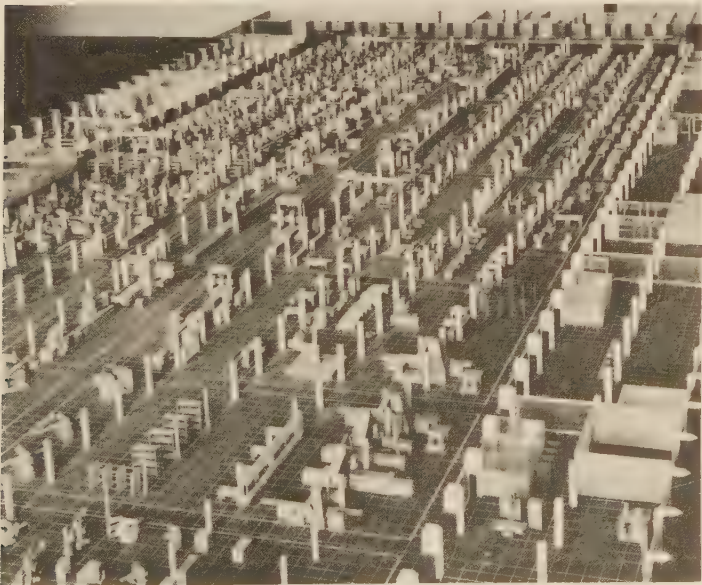


Abb. 29 Layout-Darstellung durch ein dreidimensionales Modell

1) Vgl. Muther (Layout) S. 232 f.

2) Vgl. Apple (Layout) S. 346

3) Das Foto wurde von der DIAG (Deutsche Industrieanlagen GmbH.) in West-Berlin zur Verfügung gestellt.

Der hohe Grad der Anschaulichkeit, den das Modellverfahren gewährt, dient nicht nur der Überprüfung des Layout durch den Fachmann, sondern auch der Unterrichtung der anderen Angestellten über die Einrichtung des Betriebes und den Fertigungsablauf. Dabei können durch Verschieben der Modelle auch sofort eventuelle Verbesserungsvorschläge auf ihren Wert hin untersucht werden.

Ein Nachteil der dreidimensionalen Darstellung besteht in der Schwierigkeit, technische Daten am Anordnungsplatz in übersichtlicher Form anzubringen. Eine, wenn auch unbefriedigende, Möglichkeit ist es, diese Angaben auf der Grundfläche, die das Modell einnimmt, zu vermerken. Dann muss jedoch das Modell immer abgehoben werden, um die Zahlen zu lesen. Eine Alternative, die allerdings mit Mehrarbeit verbunden ist, wäre, eine gesonderte Zeichnung anzufertigen, in der die erforderlichen Daten ausgewiesen werden.¹⁾

2. Die Anordnung der Arbeitsplätze in Werkstätten

Ein wichtiger Aspekt des Werkstatt-Layout liegt darin, dass oft auch andere Zielsetzungen als die Transportkosten-Minimierung Geltung gewinnen. So spielt oft der Gesichtspunkt der guten Übersicht und Kontrolle eine wichtige Rolle. Im Hinblick darauf ist man bemüht, die Arbeitsplätze so zu ordnen, dass die gesamte Werkstatt leicht überblickt und so die Arbeitsdurchführung wirksam überwacht werden kann.

Je nach der Form der Fertigungshalle und dem gewünschten Standort des Kontrolleurs (Meisters) kommen dann verschiedene Aufstellungen in Betracht. In der Regel erfolgt eine Anordnung der Anlagen in parallelen Reihen, es können aber auch kreis- oder

1) Vgl. Schmidt (Standort) S. 274

sternförmige Anordnungen zweckmässig sein (Abb. 30).

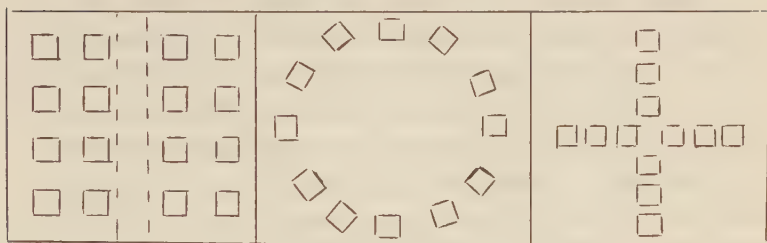


Abb. 30 Formen des Werkstatt-Layout (Reihe, Kreis, Stern)

Besonders bei der Reihenanordnung erweist sich häufig die Schrägstellung der Maschinen und sonstigen Einrichtungen als angebracht. Die Vorzüge dieser Massnahme liegen allerdings weniger in einer Verbesserung der Übersicht, als in einer Erleichterung des Zugangs für die Transportmittel zu den Anlagen, in dem gleichmässigen Lichteinfall für alle Maschinen und in der geringeren gegenseitigen Störung der Arbeiter.¹⁾

Sofern ein Arbeiter mehrere Maschinen bedienen kann, empfiehlt sich die Bildung von kleinen, eng zusammenstehenden Gruppen (Zweier-, Dreier-, Vierergruppen), die sich dann ebenfalls in den genannten Formen (Reihe, Kreis, Stern) zuordnen lassen. Welche Lösung am günstigsten ist, muss durch Variation der Anordnung mit Hilfe der Layout-Darstellungsmittel (Zeichnung, Schablone, Modell) ausprobiert werden.

Wenn auch beim Werkstatt-Layout andere Kriterien als die Transportkosten herangezogen werden können, so dürfen die Transportkosten jedoch keinesfalls unbeachtet bleiben. Allerdings stellt sich hier das Problem der Transportkosten-Minimierung in einer anderen als der bekannten Weise.

1) Vgl. Krippendorff (Materialfluss) S. 42 f.

Für die isolierte Bestimmung von Nachbarschaftsverhältnissen innerhalb der Werkstatt ¹⁾ können die Transportkosten nämlich meist nicht dienen, weil die einzelnen Arbeitsplätze untereinander gar keine Transportbeziehungen aufweisen. ²⁾ Transporte ergeben sich statt dessen lediglich zwischen den Einheiten ausserhalb der betrachteten Werkstatt und den in der Werkstatt enthaltenen Arbeitsplätzen. Wird einmal unterstellt, dass ausser der Werkstatt nur noch eine Anordnungseinheit (die man sich vereinfacht zu einem Punkt zusammengeschrumpft denken kann) vorhanden ist, so spielen sich die Transporte allein zwischen dieser Einheit und den Arbeitsplätzen in der Werkstatt ab.

Da im Verlauf der Grobplanung die Werkstatt und die weitere Einheit (Kontakteinheit) bereits so dicht wie möglich zueinandergelegt wurden, können Einflüsse auf die Transportkosten nur durch die geschickte Verteilung der Plätze in der Werkstatt erzielt werden.

Bei Vollausslastung der Werkstatt sind die Transporte jedes Arbeitsplatzes mit der Kontakteinheit aber gleichwichtig. Deshalb ist es gleichgültig, welche Arbeitsplätze innerhalb der Werkstatt man möglichst nahe an die Kontakteinheit heranrückt.

Ein Einfluss auf die Transportkosten kann allerdings dadurch gewonnen werden, dass die Gesamtheit der Anordnungseinheiten innerhalb der Werkstatt so nahe wie möglich an die Kontakteinheit herangebracht wird. Bei nur einem Ein- bzw. Ausgang führt das

1) Dabei bleiben Aussentransporte der Werkstatt unbeachtet.

2) In Ausnahmefällen sind jedoch Transportbeziehungen denkbar, wenn bei der Werkstattbildung das Verrichtungsprinzip nicht konsequent eingehalten wurde und nun auch andersartige Maschinen in der Werkstatt stehen. Dann müssen die Anlagen, welche miteinander in Verbindung stehen, möglichst dicht zueinandergelegt werden. Sollte die Bestimmung der Nachbarschaftsverhältnisse Schwierigkeiten bereiten, so können die bekannten Grobplanungsverfahren eingesetzt werden.

zur Konzentration der Arbeitsplätze in diesem Bereich der Werkstatt. Gerade jetzt dürfte aber ein optimaler Transport nicht realisierbar sein, weil durch das enge Zusammenrücken der Arbeitsplätze keine ausreichend breiten Transportwege zu den Anlagen offenbleiben. Deshalb wäre vom Standpunkt der Transport-Optimierung zu fordern, die Arbeitsplätze immer noch so weit auseinanderzulegen, dass jeder Platz mit dem günstigsten Transportmittel direkt, d. h. auf dem kürzesten (geraden) Weg erreichbar ist.¹⁾ Würde man dieser Forderung genügen wollen, so müsste bei der Kalkulation des Flächenbedarfs pro Arbeitsplatz von Anfang an ein ausreichend grosser Zuschlag für die Transportwege angesetzt werden.

Wird nun berücksichtigt, dass ja im Stadium der Feinplanung bereits festgelegt ist, wie gross die verfügbare Werkstattfläche ist und wieviele Anlagen sie aufzunehmen hat, so stellt sich hier die Frage, wie sich bei einer gegebenen Werkstattfläche die Konkurrenzbeziehung zwischen Transporterfordernissen und Raumerfordernissen optimal lösen lässt.

Bei der Behandlung dieses Problems geht man am besten von einem beliebigen Werkstatt-Layout aus. Dafür sind die Transportkosten (Summe der Produkte aus Mengen und Wegen zwischen jedem Arbeitsplatz und der Kontakteinheit)²⁾ zu ermitteln.

Dann ist zu prüfen, ob sich durch Einführung einer neuen Direktverbindung zwischen einem Arbeitsplatz und der Kontakteinheit eine Transportkosten-Senkung ergibt. Schon das ist nicht so selbstverständlich wie es zunächst scheinen mag. Wenn nämlich infolge

-
- 1) Das hier angeschnittene Problem der Anlage von Transportwegen gilt in ähnlicher Weise auch in allen jenen Situationen, in denen Arbeitsplätze unterschiedlicher Funktion miteinander in Beziehung stehen. Insofern haben die anschliessenden Ausführungen auch für diese Fälle Geltung.
 - 2) Es wird vorausgesetzt, dass es sich dabei um die bei der gegebenen Anordnung niedrigst möglichen Transportkosten handelt. Das Transportproblem bei gegebenen Transportwegen in einer Werkstatt möge also bereits optimal gelöst sein.

der grösseren Wegfläche das Ausmass der Zwischenlagerung eingeschränkt werden muss, sind häufigere Transporte erforderlich, die sogar ein Ansteigen der Transportkosten bewirken können. Sofern sich aber trotzdem eine Transportkosten-Verminde- rung einstellt, muss abgewogen werden, ob nicht andere Kosten- steigerungen durch das notwendige Zusammenrücken von Anlagen und Bedienungspersonal eintreten. Dabei ist besonders an Kosten- erhöhungen durch eine gegenseitige Behinderung der Arbeiter zu denken.

Die genaue Berechnung des Minimums der Summe aus Transport- kosten und sonstigen berührten Kosten dürfte jedoch u. a. wegen der unsicheren Beurteilungsmöglichkeit der Kostensteigerungen, die aus einem Anwachsen des für die Transportwege bestimm- ten Flächenbedarfs resultieren, sehr schwierig sein. Deshalb soll es hier bei dem entwickelten Lösungsansatz und dem Hinweis bleiben, dass die Erörterung des Transportproblems bei der Werkstatt-Einrichtung regelmässig eine Abschätzung von Trans- portkosten und den mit einer Variation der Werkstatt-Flächenauf- teilung verbundenen sonstigen Kosten bedingt.

3. Die Arbeitsplatzgestaltung

Während bisher nur die Frage behandelt wurde, wie die einzelnen Arbeitsplätze einander am besten zugeordnet werden können, soll nun untersucht werden, welche Kriterien für die Anordnung der Komponenten eines Arbeitsplatzes ausschlaggebend sind. Zu den Arbeitsplatzkomponenten gehören ausser dem Arbeiter selbst bei - spielsweise eine Maschine, ein Tisch, ein Stuhl, Regale, Ablagen, Werkzeuge und Hilfseinrichtungen wie Einspann- und Haltevorrich- tungen sowie schliesslich Behälter für Material. Die Anordnung

dieser Einrichtungen hängt u. a. von zwei Faktoren ab:¹⁾

- (1) Der Anordnung der Arbeitsplätze und den gegebenen Arbeitsgangfolgen.
- (2) Dem Bewegungsablauf bei der Durchführung eines Arbeitsganges an einem Arbeitsplatz.

(1) Je nach der Reihenfolge der Arbeitsgänge ergibt sich ein bestimmter Materialfluss. Die Richtung, aus welcher der Materialfluss in einen Arbeitsplatz eintritt bzw. in welcher er ihn verlässt, hat auf die Anordnung der Arbeitsplatzkomponenten einen beträchtlichen Einfluss. Davon hängt nämlich u. a. ab, wo die Behälter, Regale, Paletten etc. für die Lagerung des eintreffenden bzw. des abzutransportierenden (bearbeiteten) Materials aufzustellen sind. Man muss bemüht sein, diese Einrichtungen so anzuordnen, dass das Material zum Durchlaufen eines Arbeitsplatzes einen möglichst kurzen Weg benötigt.²⁾ Häufig wird aber beim Arbeitsplatz-Lay-out der besseren Messbarkeit wegen statt der Weglänge die Zeit als Beurteilungsmassstab verwendet.

(2) Neben und in Verbindung mit dem Materialfluss zwischen den Arbeitsplätzen ist der Bewegungsablauf die andere wichtige Einwirkungsgrösse bei der Arbeitsplatzgestaltung. Das gilt aus dem Grunde, weil bei der Anordnung der Arbeitsplatz-Details so vorzugehen ist, dass die Bewegungen des Arbeiters am Arbeitsplatz unter bewegungsökonomischem Gesichtspunkt in optimaler Weise durchgeführt werden können.

Die Ermittlung eines optimalen Bewegungsablaufs ist Aufgabe der

1) Weitere Faktoren, auf die aber nicht näher eingegangen wird, sind z. B.: Beleuchtung, Belüftung, Temperaturregelung, Unfallverhütung, Bequemlichkeit usw. Vgl. dazu Refa (Arbeitsgestaltung, Bd. 1) S. 76 ff.

2) Diesem Zweck dient z. B. die Drehung der Maschine in eine Stellung, in welcher der Arbeiter die eintreffenden Materialstücke schnell aufnehmen und der Maschine sowie der Ablagestelle zuführen kann.

Bewegungsstudie.¹⁾ Dabei spielt neben anderen Beurteilungsfaktoren besonders die Zeit eine wichtige Rolle: Der zur Durchführung eines Arbeitsganges vorgenommene Bewegungsablauf gilt als umso besser, je kürzer die dafür benötigte Zeit ist. Da in dieser Arbeit das Fertigungsverfahren und damit auch der Bewegungsablauf als gegeben betrachtet wird, erfolgt hier keine nähere Betrachtung der Bewegungsstudie.

Es soll nur soviel dazu gesagt werden, dass mit der Bestimmung des optimalen Bewegungsablaufs regelmässig zugleich auch das Arbeitsplatz-Layout in gewissem Rahmen festgelegt wird. Denn die Ermittlung eines zeitlich determinierten Bewegungsablaufs ist nur möglich, wenn man dabei auch jeweils - z.B. durch Anfertigen einer Skizze - eine Vorstellung von der ungefähren Anordnung der Arbeitsplatz-Details vor Augen hat. Zur Verdeutlichung dieser Aussage seien einige Grundsätze aufgezählt, deren Einhaltung zu einem ökonomischen Bewegungsablauf führen soll:²⁾

- (1) Beide Hände sollen eine Arbeit nach Möglichkeit zugleich beginnen und zugleich beenden.
- (2) Die Bewegungen beider Hände sollen entgegengesetzt symmetrisch verlaufen.
- (3) Der Kraftaufwand soll für beide Hände gleich sein.
- (4) Aufeinanderfolgende Bewegungen sollen ohne zu bremsen miteinander verbunden sein.
- (5) Die Bewegungen sollen so aneinandergereiht werden, dass sie ohne grosse Aufmerksamkeit (automatisch) erledigt werden können.
- (6) Kontinuierliche Bewegungen sind eckigen Bewegungen vorzuziehen.

Geht man wie hier von gegebenen Bewegungsfolgen aus, so braucht

1) Vgl. Kaminsky und Schmidtke (Bewegungsstudien) S. 70 ff. und die eigenen Ausführungen unter IV C 1.

2) Vgl. Hilf (Arbeitswissenschaft) S. 218

der Layout-Planer die vorhandenen Arbeitsplatz-Skizzen nur zu übernehmen. Ein Beispiel für einen eingerichteten Arbeitsplatz ist in Abb. 31 gegeben. ¹⁾



Abb. 31 Arbeitsplatz-Layout

1) Das Foto stammt aus dem Fertigungsbereich (Fräserei) der DIAG. (Deutsche Industrieanlagen GmbH, West-Berlin)

E. Die Installationsplanung

Wenn das Layout im Plan feststeht, erhebt sich die Frage, wie es am besten in die Realität zu übertragen ist. Obwohl die Installationsplanung nicht generell als Teil der Layout-Aufgabe gilt,¹⁾ sollen hier trotzdem einige Hinweise gegeben werden.²⁾

Zunächst muss geklärt werden, wer die Installationen überhaupt durchführen soll. Hierfür kommen zuerst die eigenen betrieblichen Kolonnen in Frage. Sollten diese aber zur Einrichtung eines ganzen Betriebes nicht in der Lage sein, so müssen betriebsexterne Installateure herangezogen werden.

Weiterhin ist die Festlegung des Installationsbeginns und des Installationsabschlusses (und damit der Installationsdauer) erforderlich. Im allgemeinen wird man versuchen, die Installationen möglichst schnell zu beginnen und auch zu beenden, um bald die Produktion aufnehmen zu können. Dem können aber verschiedene Hindernisse entgegenstehen. So ist zu bedenken, dass eventuell noch gar nicht alle Anlagen geliefert sind oder dass zum gewünschten Produktionsstart andere Produktionsfaktoren wie Arbeiter und Rohstoffe noch nicht in ausreichendem Umfang zur Verfügung stehen.

In Zusammenhang mit der Anlieferung der Einrichtungen muss auch für geeignete Unterstellgelegenheiten gesorgt werden, weil nicht anzunehmen ist, dass in der gleichen Reihenfolge installiert werden kann wie die Lieferungen erfolgen.

Schliesslich stellt die Regelung der zeitlichen Reihenfolge der einzelnen Installationen ein schwieriges Planungsproblem dar. Es ist nämlich eine Reihenfolge zu erarbeiten, die gewährleistet, dass gerade installierte Anlagen bei der weiteren Einrichtung nicht immer wieder umgestellt werden müssen. Wo sich das nicht ganz umgehen lässt, ist dafür Sorge zu tragen, dass die umzustellenden Anlagen

1) Vgl. Muther (Layout) S. 263

2) Ausführlichere Hinweise finden sich z. B. bei Moore (Layout) S. 165 ff.

nicht bereits fest installiert sind, sondern noch leicht verschoben werden können. Zur besseren Übersicht der Installations-Reihenfolge empfiehlt sich die Erstellung einer Zeittafel (eines Ablaufplans). ¹⁾ Dieser Ablaufplan könnte die Form einer Tabelle haben, in welcher die Einrichtungsgegenstände in der Hauptspalte und in den dazugehörigen Zeilen die entsprechenden Installationszeiten angeführt sind (Abb. 32). Auf diese Weise kann die Reihenfolge der Installationen, auch wenn einige Anlagen gleichzeitig aufzustellen sind, gut veranschaulicht werden.

Zeit Anlage	1. Woche 1970					2. Woche 1970					3. Woche 1970					4. Woche 1970				
	5	6	7	8	9	12	13	14	15	16	19	20	21	22	23	26	27	28	29	30
A																				
B																				
C																				
D																				
E																				
F																				
G																				
H																				
I																				
J																				
K																				
L																				

Abb. 32 Installations-Ablaufplan

1) Vgl. Muther (Layout) S. 269 ff.

IV. Ansatzpunkte zur Kritik beim Layout

Von mehreren möglichen kritischen Ansatzpunkten werden sechs Punkte ausgewählt, die besonders wichtig erscheinen.

Die Kritik richtet sich zunächst darauf, dass lediglich Layout-Neuplanungen erörtert wurden. Ferner sind die Fragwürdigkeit der Einflussfaktoren, die Datenproblematik sowie die Vereinfachungen bzw. Mängel der Layout-Grob- und Feinplanung hervorzuheben und zu kritisieren.

Aufgrund der Kritik ergibt sich die Erkenntnis, dass die Layout-Zielsetzung nach Minimierung der Summe der beeinflussbaren Kosten nur unzureichend realisiert werden konnte.

A. Die Beschränkung auf bestimmte Layout-Aufgaben

In der vorliegenden Untersuchung standen lediglich Neuplanungen ganzer Betriebe zur Diskussion.¹⁾ Neuplanungen einzelner Betriebsbereiche oder Umgestaltungsplanungen wurden nicht behandelt. Damit war eine grosse Zahl möglicher Layout-Fälle von der Betrachtung ausgeschlossen, denn gerade die Erweiterung von Betrieben und die Variation bestehender Anordnungen stellen eine häufige Layout-Aufgabe dar. Um die Bedeutung dieser Einengung der Thematik beurteilen zu können, ist es erforderlich, zu überprüfen, welche Folgen die Einbeziehung der ausgeschlossenen Layout-Situationen auf die Aussagekraft des beschriebenen Layout-Planungsablaufs haben würde.²⁾

(1) Hinsichtlich der Betriebserweiterung (Neuplanung von Betriebsbereichen) dürfte oft ein dem hier gezeigten Ablauf weitgehend analoges Vorgehen möglich sein. Bei der Ermittlung des optimalen Verteilungsdiagramms kann man von der Fiktion ausgehen, dass sämt-

1) Vgl. I C

2) Diese Untersuchung soll sich, da Fein- und Installationsplanung lediglich relativ kurz erörtert wurden, nur auf den Grobplanungsablauf beziehen.

liche (also auch die bereits fixierten) Einheiten noch keinen festen Standort haben.¹⁾ Das bestehende Verteilungsproblem²⁾ liesse sich dann sofort mit den bekannten Grobplanungsverfahren lösen. Nach der sich anschliessenden Entwicklung des Raumdiagramms müsste jedoch bei der Anpassung des Diagramms an die räumlichen Gegebenheiten die in Wirklichkeit vorhandene Standortfixierung einiger Einheiten berücksichtigt und die unter diesen Umständen bestmögliche Anordnung vorgenommen werden.

Eine Alternative besteht darin, beim Einsatz der Grobplanungsverfahren, die Standortverteilung der "alten" Einheiten von Anfang an als unveränderlich anzunehmen. Dann können nur Anordnungsvariationen der "neuen" Einheiten erfolgen. Wahrscheinlich ist sogar die Rechenarbeit geringer, weil ein Standortwechsel von "alten" Einheiten nicht mit in die Berechnungen einbezogen werden muss. Die sich anschliessende Bildung des Raumdiagramms und seine Anpassung an die gegebenen Verhältnisse dürfte wiederum in der bisherigen Weise zu bewältigen sein.

Mitunter kann es aber bei der Ermittlung des optimalen Verteilungsdiagramms zu Schwierigkeiten kommen, weil sich das vorhandene Layout des zu vergrössernden Betriebes nicht so leicht in ein Verteilungsdiagramm überführen lässt, das als Ausgangsbasis für die Verteilung der "neuen" Einheiten dient. Diese Schwierigkeiten treten auf, wenn sich die Fertigung auf einer grossen Zahl von Teilflächen (einzelnen Hallen und Stockwerken) abspielt. Als Ausweg steht offen, ein Ausgangs-Diagramm nur für diejenige Teilfläche zu bestimmen, mit welcher die "neuen" Einheiten ausschliesslich oder überwiegend in Verbindung stehen. Sollten aber die zusätzlichen Anlagen auch mit den Einheiten anderer Teilflächen stärkere Kontakte haben, so empfiehlt es sich, von der

-
- 1) Diese Fiktion ist durchaus nicht immer unrealistisch, weil Betriebserweiterungen oft auch mit Umgestaltungen verbunden sind. Davon wird hier jedoch abgesehen.
 - 2) Ein Verteilungsproblem gibt es natürlich nur dann, wenn für die zusätzlichen Anlagen Anordnungsalternativen existieren. Ob das der Fall ist, kann eine kurze Vorschau über die räumlichen Verhältnisse erweisen.

oben beschriebenen Fiktion der freien Beweglichkeit aller Einheiten auszugehen.

(2) Eine andere Beurteilung verdienen die Umgestaltungsplanungen. Zwar kann auch dabei der geschilderte Planungsablauf häufig unverändert Anwendung finden, sofern man von der Annahme ausgeht, sämtliche Einheiten sollten umgestellt werden. Das nun gebildete Layout darf jedoch nur als sogenannter Soll-Vorschlag gewertet werden, welchem der Ist-Zustand gegenüberzustellen ist. Nur nach einem Soll-Ist Vergleich kann entschieden werden, ob es sich lohnt, die Umgestaltung durchzuführen. Dabei darf nicht übersehen werden, dass auch die Umstellung selbst Kosten verursacht.

Bei Umgestaltungsplanungen müssen daher zwei zusätzliche Probleme gelöst werden: Zum einen die Erfassung des Ist-Zustandes und zum anderen der Soll-Ist Vergleich. Beides ist oft mit grossen Komplikationen verbunden und nicht ohne die Verwendung besonderer Verfahren zu bewältigen.¹⁾ Da in dieser Arbeit das Schwergewicht auf der Ausarbeitung des Soll-Vorschlages liegt, können Umgestaltungen damit also nicht vollständig gelöst werden. Die angemeldete Kritik weist insofern auf einen beachtenswerten Nachteil hin.

B. Die Fragwürdigkeit der Layout-Einflussfaktoren

Schon bei der Behandlung der Einflussfaktoren waren ihre Unvollständigkeit sowie der Verzicht auf die Beschreibung ihrer gegenseitigen Beeinflussung als problematisch herausgestellt worden.²⁾ Darüber hinaus gibt es noch zwei weitere Ausgangspunkte für eine kritische Auseinandersetzung mit den Faktoren, nämlich ihre geringe Aussagekraft und die bei einigen von ihnen fehlende generelle Gültigkeit.

1) Vgl. dazu die Ausführungen von Schmidt (Standort) S. 128ff. und Heiner (Förderwesen) S. 283 ff. Heiner beschränkt seine Untersuchung jedoch auf die Umgestaltung des Förderwesens.

2) Vgl. II

1. Die geringe Aussagekraft der Einflussfaktoren

Die geringe Aussagekraft der Faktoren offenbart sich, wenn man vor einer konkreten Planungssituation steht. Dann ist der Hinweis, das zu entwickelnde Layout werde durch das Produktprogramm, das Fertigungsverfahren, den Materialfluss etc. beeinflusst nahezu wertlos. Das gilt auch, allerdings in abgeschwächter Form, für die Aufgliederung der genannten pauschalen Faktoren. Beispielsweise führte die Aufgliederung des Faktors "Produktprogramm" zu Spezialfaktoren wie Produktart, Produkteigenschaften oder Produktmenge. Aber selbst die weiteren Spezifizierungen z.B. der Produkteigenschaften in Einflussgrößen wie Grösse, Gewicht, Form und physikalischer Zustand sind - bezogen auf einen bestimmten Einzelfall - nicht besonders aufschlussreich. Denn in welcher Weise diese Faktoren auf ein Layout einwirken, konnte bestenfalls an einem speziell konstruierten Beispiel erläutert werden.

Auch für die Spezialfaktoren, die auf den anderen pauschalen Einflussgrößen beruhen, trifft das eben Gesagte zu. Der Grund für diesen grundsätzlichen Mangel liegt darin, dass es unmöglich ist, alle denkbaren Auswirkungen eines Faktors in Beispielen zu erfassen. Deshalb muss man sich mit der Aussage begnügen, dass ein bestimmter Faktor das Layout in dieser oder jener Weise beeinflussen könnte. Ob und in welcher Form das tatsächlich geschieht, bleibt offen und ist in jedem einzelnen Fall erneut zu überprüfen.

2. Die fehlende Allgemeingültigkeit einiger Einflussfaktoren

Eng verknüpft mit der geringen Aussagekraft der Faktoren ist die Frage ihrer Allgemeingültigkeit.

Zunächst zu einigen Einflussgrößen, die wohl keine generelle Gültigkeit beanspruchen können. Hierher gehört zunächst der Faktor

"Betriebsgebäude", weil dieser immer nur dann Einfluss gewinnen kann, wenn bei der Layout-Planung ein gegebenes Gebäude als Datum zu berücksichtigen ist. Das braucht aber - gerade bei Neuplanungen - nicht generell der Fall zu sein. Sonst ist es ja gerade so, dass zuerst das Layout entwickelt und dann das entsprechende Gebäude entworfen wird, welches das fertige Layout aufnehmen kann.

Abgesehen davon lässt sich noch eine ganze Anzahl weiterer Faktoren nennen, deren Allgemeingültigkeit fragwürdig ist. So muss durchaus nicht bei allen Maschinen eine Layout-relevante Staub-, Abgas- oder Lärmentwicklung vorliegen, die Bodenbelastbarkeit kann im gesamten Betrieb für Anlagen jeder Art ausreichend sein und auch die Deckenhöhe von Räumen braucht nicht regelmässig zu Anordnungsbeschränkungen zu führen.

Auf der anderen Seite gibt es aber auch Faktoren wie Produktprogramm, Fertigungsverfahren oder Materialfluss, welche sehr wahrscheinlich regelmässig auf das Layout Einfluss nehmen.

Nun liegt der Gedanke nahe, den Vorwurf der fehlenden Allgemeingültigkeit einiger Einflussgrössen auszuschalten, indem auf die Darstellung von Faktoren, die nur in Sonderfällen Geltung haben (Sonderfaktoren), ganz verzichtet wird. Dem ist dreierlei entgegenzuhalten:

Erstens die Feststellung, dass es nicht so ohne weiteres ersichtlich ist, wann es sich um Sonderfaktoren und wann um generell gültige Faktoren handelt. Das müsste vielmehr jeweils durch empirische Untersuchungen nachgewiesen werden. Zweitens ist zu bedenken, dass die Vernachlässigung von Sonderfaktoren gerade die eingangs kritisierte Unvollständigkeit der Faktoren noch verstärken würde. Drittens muss auf die im konkreten Einzelfall geringe Aussagefähigkeit namentlich der allgemeingültigen Einflussgrössen hingewiesen werden. Zwar können auch Sonderfaktoren nicht viel zur Lösung einer konkreten Layout-Aufgabe beitragen; die Gestaltungshinweise aufgrund eines Sonderfaktors dürften aber - sofern er relevant ist - immer noch aufschlussreicher sein als die Hin-

weise, die von allgemeingültigen Faktoren ausgehen.

C. Die Datenproblematik

Hier soll auf zwei mit der Phase der Datenermittlung zusammenhängende Probleme hingewiesen werden: Zum einen auf die angenommene Vorgabe von Mindest-Daten, zum anderen auf die Unvollkommenheit vieler der benötigten Daten.¹⁾

1. Die Vorgabe bestimmter Daten

Sofern wie hier das Produktprogramm, das Fertigungsverfahren und das Betriebsgrundstück voraussetzungsgemäss als Daten vorgegeben sind, bedeutet das für den Layout-Planer eine erhebliche Vereinfachung der Datenermittlung. Solange nämlich die benötigten Daten von den betrieblichen Entscheidungsträgern bereits festgelegt sind, muss er sie von den betreffenden Stellen nur noch übernehmen. Komplizierter wird es dagegen, wenn die Daten noch gar nicht existieren. Dann können im Rahmen der Phase der Datenermittlung zahlreiche Optimierungsprobleme (optimales Produktprogramm, optimales Fertigungsverfahren etc.) auftreten, weil die Layout-Zielsetzung die Minimierung aller beeinflussbarer Kosten verlangt.

Nun erhebt sich die Frage, ob die Unterstellung der Vorgabe dieser Mindest-Daten realitätsfern und damit der geschilderte Planungsablauf in wesentlichen Punkten unvollständig ist. Die Frage kann verneint werden, weil bei der Behandlung von Layout-Problemen - allerdings mit einigen Nuancierungen - allgemein davon ausgegangen wird, dass die oben genannten Mindest-Daten gegeben sind.

Volle Einigkeit besteht darüber, dass die Festlegung des Produktprogramms nicht in den Entscheidungsbereich des Layout-Planers fällt.²⁾ Ähnlich scheint es sich mit dem Betriebsgrundstück zu ver-

1) Vgl. dazu auch I C und III B 1. und 2.

2) Vgl. Apple (Layout) S. 25f. ; Muther (Layout) S. 159f.

halten, obwohl darauf nur ausnahmsweise ausdrücklich hingewiesen wird.¹⁾ Lediglich beim Fertigungsverfahren ist nicht ganz unumstritten, ob seine Auswahl mit zur Layout-Aufgabe gehört.²⁾ Vorwiegend wird jedoch die Ansicht vertreten, dass auch das Fertigungsverfahren generell vorgegeben ist.³⁾

Um eine Vorstellung über das Ausmass der zusätzlichen Arbeit zu vermitteln, wenn bei der Datenermittlung das Fertigungsverfahren noch nicht feststeht, sollen nachfolgend einige Aspekte der Verfahrenswahl angedeutet werden.

(1) Beim realtechnischen Verfahren müssen Teilezahl, Arbeitsgangfolgen, Produktionsmaschinen und Bewegungsfolgen in der Weise bestimmt werden, dass die gewünschte Produktmenge zu den niedrigsten Kosten hergestellt werden kann. Regelmässig stehen mehrere Verfahren zu Auswahl, von denen das günstigste auszuwählen ist.⁴⁾ Im allgemeinen spielt das Abwägen zwischen den verschiedenen hohen Fix-Kostenanteilen und den unterschiedlichen variablen Kosten die Hauptrolle. Schwierigkeiten ergeben sich oft, weil ein Verfahren nicht bei jeder Produktionsmenge besser oder schlechter als ein anderes abschneidet, sondern nach Durchlaufen einer sogenannten kritischen Menge (wo gleiche Kosten entstehen) billiger oder teurer wird. Dann entsteht das Problem, ob die Absatzerwartungen und die darauf basierende Fixierung der gewünschten Produktionsmenge auch zuverlässig sind.⁵⁾

Neben der kostenmässigen gibt es auch eine zeitliche Formulierung des Verfahrensproblems, wobei die Zeit als Ersatzmassstab für die Kosten angesehen werden muss. Das trifft z. B. für die Bestimmung der für das Arbeitsplatz-Layout relevanten optimalen Bewegungsfolgen zu. Auf diesen Teilaspekt des Verfahrens-

1) Eine solche Ausnahme macht Buser (Anordnung) S. 15

2) Vgl. Moore (Layout) S. 13

3) Vgl. Muther (Layout) S. 39 f.

4) Zum Verfahrenvergleich vgl. z. B. Hennig (Betriebswirtschaftslehre) S. 41 ff.

5) Vgl. dazu die Ausführungen unter IV C 2.

vergleichs soll etwas näher eingegangen werden.

Ausgangspunkt ist die Zerlegung des zu untersuchenden Arbeitsganges in die notwendigen Bewegungen der Arme und Beine des Arbeiters. Dann müssen die Arbeitsbewegungen unter dem Gesichtspunkt der sogenannten Bewegungsgrundelemente aufgegliedert werden. Ein Bewegungsgrundelement ist eine isolierte Teilbewegung, so wie sie sich - unabhängig vom Arbeitsablauf - aus der Bewegungsmechanik des menschlichen Körpers ergibt.¹⁾ Die Arbeitsbewegung "Transportieren" könnte z.B. in die Bewegungsgrundelemente "Hinlangen", "Ergreifen", "Bewegen" und "Loslassen" aufgegliedert werden.²⁾ Für die Grundbewegungen kann nun der Zeitbedarf gemessen und aufgrund dessen die zeitliche Dauer einer ganzen Bewegungsfolge festgestellt werden.

In der Tat gibt es mehrere Verfahren, welche die Optimierung des Bewegungsablaufs in derartiger Weise vornehmen. Sie gehen davon aus, dass man den Bewegungsgrundelementen konstante Zeitwerte, die ein für allemal gelten (sogenannte vorbestimmte Zeiten), zuordnen und damit jede Bewegungsfolge bewerten kann. In der Praxis angewandte Verfahren sind z.B. Methods-Time-Measurement (MTM), Work Factor (WF) und Basic-Motion-Time-study (BMT).

(2) Bei der Festlegung des organisationstechnischen Verfahrens tritt der enge Zusammenhang von Layout und Verfahrenswahl besonders deutlich zutage. Denn die Entscheidung, ob Strassen- oder Werkstattfertigung angebracht ist, kann sowohl als Verfahrensalso auch als Layout-Problem betrachtet werden.

Wenn nur wenige verschiedene Teile produziert werden, kann zum Erkennen gleicher Arbeitsgangfolgen das Einzeichnen aller Arbeitsgangfolgen in ein einziges Diagramm gute Dienste erweisen.³⁾ Sofern und soweit die eingezeichneten Kurven sich decken bzw. parallel verlaufen, sind die Arbeitsgangfolgen identisch, so dass

1) Vgl. Kaminsky und Schmidtke (Bewegungsstudien) S. 91

2) Vgl. Ebenda

3) Vgl. Muther (Layout) S. 178

Strassenfertigung in Betracht kommt. Bei unterschiedlichen Kurven ist statt dessen die Werkstattfertigung ins Auge zu fassen.

Sollten dagegen sehr viele Produkte zu erstellen sein, so würde ein solches Diagramm zu unübersichtlich werden. Dann empfiehlt sich die Verwendung von Lochkarten und den dazugehörigen Auswertungsgeräten (Sortiermaschinen, Tabelliermaschinen):

Für jedes Produktteil und die dazugehörige Arbeitsgangfolge ist eine Lochkarte zu erstellen; dann werden die Lochkarten nach der Arbeitsgangfolge sortiert und auf diese Weise Produktteile mit gleichen Gangfolgen ausfindig gemacht.¹⁾

2. Die Unvollkommenheit der Daten

Die Unvollkommenheit der Daten kann durch die Einzeltatbestände der Unvollständigkeit, der Unbestimmtheit und der Unsicherheit umrissen werden.²⁾ Unvollständigkeit bedeutet, dass benötigte Daten vollkommen fehlen. Das kann - wie oben am Beispiel des Fertigungsverfahrens gezeigt wurde - zu einer beachtlichen Komplizierung der Datenermittlung führen.

Im Falle der Unbestimmtheit können zwar genügend Daten vorliegen, aber diese sind sehr ungenau und daher nur von geringem Informationsgehalt.

Wenn beispielsweise die Produktmenge pro Periode mit 5.000 - 30.000 Stück angegeben wird, so ist das für den Layout-Planer äusserst unbefriedigend, weil ja auch die auf der Produktmenge basierenden Angaben entsprechend unpräzise sein werden. Um überhaupt an die Lösung einer Layout-Aufgabe gehen zu können, müsste die vermutliche Absatzmenge schon erheblich enger eingegrenzt werden.

Wenn man nun bei der erneuten Abwägung der Absatzchancen zu dem Ergebnis käme, dass wahrscheinlich ca. 15.000 Stück pro

1) Eine ausführlichere Beschreibung des Vorgehens findet sich bei Buser (Anordnung) S. 56 ff.

2) Vgl. dazu Kosiol (Aktionszentrum) S. 198 ff. Kosiol nennt als vierten Aspekt noch die subjektiv begründete Ungewissheit.

Periode absetzbar sind, so wäre dieses Datum aber in besonderem Masse mit dem Moment der Unsicherheit belastet. Denn je genauer eine Aussage formuliert wird, umso unsicherer ist sie.¹⁾ Es besteht also die Gefahr, dass die Absatzmenge falsch geschätzt und infolgedessen ein Layout für eine zu grosse oder zu kleine Produktmenge entwickelt wird. Da die Produktmenge mit für die Entscheidung Werkstatt- oder Strassenfertigung ausschlaggebend ist, kann auch ein gänzlich anderes Layout entstanden sein als es bei der richtigen Einschätzung des Absatzes der Fall gewesen wäre.

Ein Grund für die Unvollkommenheit der Daten liegt in der mangelnden Übersicht über Vergangenheit, Gegenwart und Zukunft. Die mit der Datenfestsetzung betrauten Entscheidungsträger verfügen nur über unvollkommene Informationen und können daher auch nur Vermutungen (Datenannahmen) aufstellen.

Ein anderer Grund ist in der teilweise unzureichenden Informationsbereitschaft mancher Betriebsabteilungen zu erblicken. Obwohl die Daten bekannt sind, werden sie aus Angst vor Kontrollen und Veränderungen oder aus Neid und persönlicher Missgunst nicht weitergegeben. Ein Ausschalten oder Vermindern der Informationswiderstände setzt die Verbesserung des Betriebsklimas voraus.

D. Die Vereinfachungen der Layout-Grobplanung

Einen ersten Angriffspunkt bietet die beim Einsatz der Grobplanungsverfahren erfolgte Normierung des Layout-Problems. Als weitere Vereinfachungen sind die fast ausschliessliche Beschränkung auf die Transportkosten als Anordnungskriterium sowie die Verwendung des Produktes aus Transportmenge und Transportweg als Transportkosten-Massstab hervorzuheben. Schliesslich muss noch die Tatsache kritisiert werden, dass ein umfassender Vergleich der beschriebenen Planungsverfahren unterblieb, so dass nur ungenaue Aussagen über ihre unterschiedliche Eignung möglich sind.

1) Vgl. Kosiol (Aktionszentrum) S. 199

1. Die Normierung des Layout-Problems

Zwei Annahmen waren für ein normiertes Layout-Problem kennzeichnend:¹⁾

- (1) Die Fläche und die Höhe der Anordnungseinheiten bleiben unberücksichtigt.
- (2) Die tatsächlichen räumlichen Gegebenheiten spielen keine Rolle.

Unter diesen Voraussetzungen wurde mit den Grobplanungsverfahren das (praktisch oder theoretisch) optimale normierte Verteilungsdiagramm ermittelt.

Nun muss als Nachteil hervorgehoben werden, dass es sehr fragwürdig ist, ob die im Verteilungsdiagramm gegebene Anordnung im weiteren Verlauf der Grobplanung vollständig oder auch nur annähernd vollständig beibehalten werden kann. In vielen Fällen dürfte das nicht möglich sein, weil die Raumhöhe, die Flächenform oder die Aufteilung der Gesamtfläche in Teilflächen eine Veränderung der Standorte der Einheiten verlangt. Jetzt wird es mitunter unumgänglich, wichtige Nachbarschaftsverhältnisse zu trennen. Selbst die Bildung von Anordnungsgruppen mittels der Kontraktionsmethode bedeutet keine entscheidende Hilfe, wenn die sich herausbildende Gruppenstruktur einer vorteilhaften Anpassung an die Raumverhältnisse entgegensteht. Es kann vielmehr erforderlich werden, sämtliche Gruppen sogar mehrmals aufzuteilen, so dass der Erfolg der Grobplanungsverfahren - jedenfalls gemessen am ursprünglichen Ergebnis - nur noch gering einzuschätzen ist.

Als Alternative wäre zu erwägen, in Layout-Situationen, in denen eine grössere Zahl von Teilflächen zu beachten ist, völlig auf den Einsatz der Grobplanungsverfahren zu verzichten. Statt dessen könnten die Einheiten - zwar unter Beachtung der Transportverhältnisse, aber ohne erst intensiv nach einem transportkostenoptimalen Verteilungsdiagramm zu suchen - gleich entsprechend ihrem Flächen- und Höhenbedarf angeordnet werden. Diese Lö-

1) Vgl. III C und III C 1.

sungen wären allerdings wahrscheinlich im Hinblick auf die Transportkosten noch schlechter als vorher. Auf der anderen Seite ist jedoch das Fortfallen der Kosten für die Entwicklung des optimalen Verteilungsdiagramms einzukalkulieren, wodurch eventuell der Anstieg der Transportkosten überkompensiert wird.

Gegen den Alternativvorschlag gibt es zwei Einwände. Zum einen, dass eben ungewiss ist, ob die eingesparten Entwicklungskosten die Transportkostenerhöhung wettmachen. Zum anderen, dass man von vornherein die sich bei einer Kontraktion ergebende Gruppenstruktur nie kennt und daher nicht weiss, ob die Gruppen nicht doch ohne grössere Trennungen auf den Teilflächen angeordnet werden können.

Deshalb ist auch in besonderen Situationen ein Verzicht auf die Grobplanungsverfahren nicht anzuraten. Trotzdem muss die erforderliche Normierung als starke Vereinfachung der Layout-Problematik erkannt werden.

2. Das Heranziehen der Transportkosten als alleiniges Entscheidungskriterium

Bei den meisten Grobplanungsverfahren war die Minimierung der Transportkosten das einzige Ziel der Anordnungsbemühungen. Das muss jedoch als unbefriedigend angesehen werden, weil in Wirklichkeit noch andere bzw. ergänzende Zielsetzungen relevant sein können, die dem Ziel der Transportkosten-Minimierung sogar mitunter entgegenstehen.

Als ergänzende Anordnungsgesichtspunkte kommen z.B. die Prinzipien der besten Beleuchtung, der besten Belüftung oder der grössten Übersicht und Kontrolle in Betracht.¹⁾

Soweit die Befolgung dieser Prinzipien im Widerspruch zu der an den Transportkosten orientierten Verteilung steht, müsste immer überprüft werden, ob die dadurch erreichbaren Kostensenkungen die Erhöhung der Transportkosten mehr als ausgleichen

1) Vgl. I A 2 b)

können.

Mit der Beschränkung auf die Transportkosten unterblieb auch die ausreichende Berücksichtigung einer weiteren Layout-Kostenkomponente, nämlich der Entwicklungskosten. Gerade diese werden aber für sehr wichtig gehalten, weil sie beim Einsatz moderner Rechenanlagen eine beachtliche Höhe erreichen können. Mit Hilfe derartiger Rechner wird es zunehmend oder sogar regelmässig möglich, theoretische Optima zu ermitteln. Bei den einzelnen Rechenoperationen, die schrittweise zum theoretischen Optimum führen, stellt sich aber immer die Frage, ob die zusätzlichen Rechenkosten nicht grösser als die Transportkosten-Senkungen sind.

Dieses Problem konnte nicht gelöst werden. Zwar wurde häufig auf die Entwicklungskosten hingewiesen und die Ansicht geäussert, dass die Lösungsverbesserungen bei weiteren Rechenschritten kleiner werden. In welchem Ausmass das zutrifft bzw. ob es überhaupt geschieht, blieb aber letztlich ungewiss.

Wollte man Transport- und Entwicklungskosten gleichzeitig in ein Optimierungsmodell aufnehmen, so ergibt sich generell die Schwierigkeit, dass zwar die Entwicklungskosten für weitere Rechenoperationen nicht aber die daraus resultierenden Verminderungen der Transportkosten vorhersehbar sind.

Wenn nun aber neben den Transportkosten noch viele andere Layout-relevante Kosten existieren, drängt sich die Frage auf, wodurch die weitgehende Konzentration auf die Transportkosten gerechtfertigt ist. Dazu kann auf die zu Beginn der Arbeit gemachten Aussagen verwiesen werden, die zeigen, dass die Transportkosten in Industriebetrieben häufig einen erheblichen Anteil an den Gesamtkosten ausmachen.¹⁾

Allerdings darf nicht übersehen werden, dass die Angaben über die grosse Bedeutung der innerbetrieblichen Transportkosten nicht für die ganze Industrie repräsentativ sein müssen. Die Repräsentanz ist vielmehr in hohem Masse zweifelhaft, weil die Zahl der

1) Vgl. I A 1.

Erhebungen noch sehr klein ist. Daran ist wahrscheinlich die Tatsache schuld, dass die Transportkosten oft in dem grossen Topf der Gemeinkosten untergehen und ihr gesonderter Ausweis deshalb nicht möglich ist.¹⁾ Die Rechtfertigung der Beschränkung auf die Transportkosten muss also unter Vorbehalt erfolgen.

3. Die Ermittlung der Transportkosten

Bei den Grobplanungsverfahren galten die Produkte aus Transportweg und Transportmenge als Massstab für die Transportkosten. Darin stecken zwei Vereinfachungen, die oft nicht realitätsnah sein dürften.

Zum einen ist zu bezweifeln, ob die Produkte - selbst wenn sie sich proportional zu den Transportkosten entwickeln sollten - die absolute Höhe der Kosten wiedergeben können. Das wäre nur möglich, wenn die Transportkosten pro Mengen- und Wegeinheit gerade immer 1 DM betrügen. Da dieser Fall aber sehr unwahrscheinlich ist, muss zugestanden werden, dass die angegebenen DM-Grössen nur als Vorstellungshilfen zu werten sind.

Zum anderen erscheint die angenommene Proportionalität fragwürdig. Wenn nämlich ein Transportmittel zwischen zwei Anordnungseinheiten einmal voll und einmal nur halbvoll beladen verkehrt, werden die Transportkosten im zweiten Fall nicht annahmegemäss nur halb so gross, sondern in Wirklichkeit genauso gross oder nur unwesentlich kleiner sein.

Nachfolgend sollen nun zwei Vorschläge diskutiert werden, die eine teilweise Beseitigung der erläuterten Unzulänglichkeiten erlauben. Beide Vorschläge zielen lediglich auf die Bestimmung eines wirklich proportionalen (Ersatz-) Massstabes, der aber über die absolute Kostenhöhe gar keine bzw. nur geringe Auskunft geben kann.

1) Vgl. Refa (Arbeitsgestaltung, Bd. 1) S. 72

Der erste Vorschlag geht davon aus, dass die Veränderung der Transportkosten direkt von der Anzahl der Läufe eines Transportmittels bestimmt wird.¹⁾ Daraus ergibt sich, dass eine Umformung der Fördermengen in Transportläufe vorzunehmen ist. Die Transportmengen müssen durch die maximale Ladungskapazität des Transportmittels dividiert werden. So erhält man die Anzahl der Läufe zwischen je zwei Einheiten. Falls die Rechnung nicht glatt aufgeht, ist eine Aufrundung des Ergebnisses vorzunehmen, weil auch eine kleine Restmenge einen ganzen Transportlauf erfordert. Die Summe der Produkte aus Transportläufen und Transportwegen vermittelt dann Anhaltspunkte über die Qualität des gerade vorliegenden Layout.

Der zweite Vorschlag ist darauf gerichtet, unmittelbar die verbrauchsbedingten (nutzungsbedingten) Transportkosten zu erfassen.²⁾ So glaubt man, eine nähere Vorstellung auch über die absolute Kostenhöhe gewinnen zu können. Zur Ermittlung der "Verbrauchs-kosten" sind zuerst die verbrauchsbedingten Transportkosten pro Wegeinheit festzustellen und dann mit den Weglängen zwischen den Einheiten zu multiplizieren. Die Summe der Produkte stellt das gewünschte Ergebnis dar.

Um zu den "Verbrauchskosten" pro Wegeinheit zu kommen, wird zunächst für das jeweils eingesetzte Transportmittel ein Laufstundensatz mit der Dimension DM/Std. angesetzt. In diesem Satz müssen die "Verbrauchskosten" bestehend aus Betriebs-, Instandhaltungs-, Wartungskosten und verbrauchsbedingten Abschreibungen anteilig einzugehen. Dividiert man den Laufstundensatz durch die Geschwindigkeit des Transports, so ergeben sich die Transportkosten pro Wegeinheit, dimensionsmässig: $(DM/Std.) / (m/Std.) = (DM/m)$.³⁾ Die Geschwindigkeit gilt als Ausdruck für die durch das Transportgut bedingte Schwierigkeit des Transports; erfordert

1) Vgl. dazu z.B. Moore (Layout) S. 318

2) Vgl. Kiehne (Standortplanung) S. 42 ff. Falls die Wahl des Transportmittels noch in gewissen Grenzen offen ist, müssen aber ausser den Verbrauchskosten auch noch die zeitraumproportionalen Kosten berücksichtigt werden. Vgl. Ebenda S. 46 f.

3) Vgl. Ebenda S. 45 f.

ein Gut etwa eine besonders sorgfältige Behandlung, so macht sich das in der grösseren Langsamkeit des Transports bemerkbar.¹⁾

Als Einwand muss sich dieses Konzept die schwierige Ermittlung der verbrauchsbedingten Transportkosten entgegenhalten lassen. Es wurde schon darauf verwiesen, dass das Rechnungswesen vieler Betriebe die innerbetrieblichen Transportkosten überhaupt nicht gesondert ausweist. Aber selbst wenn das geschehen würde, bedeutet die zuverlässige Aussonderung des Verbrauchs-kosten-Anteils pro Weeinheit eine weitere starke Komplizierung. Beispielhaft sei nur auf die Probleme bei der Bestimmung eines am Verbrauch orientierten Abschreibungssatzes verwiesen.²⁾

4. Der Verzicht auf Verfahrensvergleiche

Insgesamt wurden sechs Grobplanungsverfahren zur Bestimmung des optimalen normierten Verteilungsdiagramms erörtert. Es blieb aber ungeklärt, ob bestimmte Verfahren entweder grundsätzlich oder in speziellen Planungssituationen anderen Verfahren vorzuziehen sind. Dazu wäre ein umfassender Verfahrensvergleich anzustellen gewesen.

Ein aussagefähiger Vergleich der Verfahren bedingt einen geeigneten Vergleichsmassstab. Zunächst wäre zu erwägen, hierfür die Qualität der Ergebnisse bei den einzelnen Verfahren heranzuziehen:³⁾ Je näher eine Lösung dem theoretischen Optimum ist, umso besser ist das Planungsverfahren.⁴⁾ Diesem Vorgehen steht ent-

1) Vgl. Kiehne (Standortplanung) S. 46

2) Vgl. z.B. Kosiol (Buchhaltung) S. 176 ff., 238 ff.

3) Um auch die Kreismethode und die Kontraktionsmethode mit in den Vergleich einbeziehen zu können, müssten die damit gewonnenen Resultate in eine Rasterebene übertragen werden.

4) Das setzt voraus, dass das theoretische Optimum schon vorher mit einem geeigneten Verfahren (z.B. mit der Flood'schen Zu-rechnungstechnik) ermittelt wurde.

gegen, dass alle Verfahren das theoretische Optimum erzielen könnten, wenn der angegebene Lösungsweg nur lange genug fortgesetzt wird. Spätestens nachdem alle überhaupt existierenden Anordnungsalternativen durchprobiert sind, ist das theoretische Optimum erreicht.

Jetzt zeigt sich, dass auch die Entwicklungskosten mit in die Überlegungen einbezogen werden müssen. Es erscheint sinnvoller, die Verfahren danach zu bewerten, wie hoch jeweils die zur Ermittlung einer bestimmten Verteilung erforderlichen Entwicklungskosten sind. Ein korrekter Vergleich ist jedoch nur möglich, wenn alle Verfahren von der gleichen Person, beginnend mit der gleichen Ausgangsverteilung, zur Lösung der gleichen Layout-Aufgabe eingesetzt werden. Die sich dabei ergebenden Entwicklungskosten gestatten eine Einstufung der Verfahren: Das beste Verfahren erfordert die geringsten Kosten etc. Allerdings ist äusserst zweifelhaft, ob diese Rangordnung zuverlässig über die allgemeine Eignung der Planungsverfahren Auskunft geben kann.

Erstens ist zu bedenken, dass nicht immer unbedingt das theoretische Optimum angestrebt wird, weil die Entwicklungskosten auch des günstigsten Verfahrens noch zu hoch sein können. Es ist aber fraglich, ob die Rangordnung der Verfahren auch bei der Ermittlung praktischer Optima unverändert bleibt.¹⁾

Zweitens ist zu überprüfen, ob sich die Rangordnung auch bei Lösung anderer Planungsaufgaben bestätigt. Um das zu klären, muss der gleiche Layout-Planer eine grössere Zahl von Aufgaben jeweils mit allen Verfahren durchspielen.

Selbst wenn sich die gleiche Bewertung der Verfahren ergeben sollte, könnte (drittens) noch ein Wechsel in der Person des Planers zu einer veränderten Rangordnung führen. Es ist nämlich nicht ausgeschlossen, dass ein Layout-Planer mit einem bestimmten Verfahren durchweg gut abscheidet, während ein anderer, dem das

1) Verfahren, die nur zur Bestimmung theoretischer Optima dienen, scheiden aus dem Vergleich ohnehin aus.

Verfahren nicht liegt, nur mässige Ergebnisse erzielt.

Schon diese kurzen Ausführungen geben zu der Vermutung Anlass, dass sich bei Durchführung eines solchen Vergleichs keine generell gültige, sondern eine mit den verschiedenen Bedingungen variierende Rangordnung der Verfahren ergeben würde. Trotzdem braucht man nun nicht zu befürchten, in einer konkreten Planungssituation ständen regelmässig alle sechs Verfahren zur Diskussion, ohne dass eine akzeptable Entscheidung für ein bestimmtes Verfahren gefällt werden kann. Vielmehr werden die im speziellen Fall gegebenen Bedingungen den Kreis der zweckmässig anzuwendenden Verfahren häufig automatisch einengen.

Falls besonderer Wert auf eine theoretisch optimale Verteilung gelegt wird, empfiehlt sich allein die Flood'sche Zurechnungstechnik. Zwar können auch die anderen Verfahren zum theoretischen Optimum führen; sie bedingen jedoch die vollständige Enumeration, weil sonst ungewiss ist, ob eine bestimmte Lösung das Optimum darstellt. Die erforderlichen Entwicklungskosten wären aber wahrscheinlich höher als bei der Zurechnungstechnik.¹⁾

Das Travel-Charting und das Dreieckverfahren sind (eventuell kombiniert) in Erwägung zu ziehen, wenn praktische Optima ausreichen und besondere Rechenanlagen nicht zur Verfügung stehen.

Demgegenüber kann beim Vorhandensein moderner Rechner das Vertauschungsverfahren wegen seines formelmässigen Ansatzes angebracht sein. Im Gegensatz zur Flood'schen Zurechnungstechnik, bei welcher auch ein systematischer Rechenablauf einzuhalten ist, wird hier aber nicht zwangsläufig das theoretische Optimum realisiert.

1) Diese Vermutung ist namentlich bei grösseren Verteilungsproblemen (mehr als fünf Anordnungseinheiten) gerechtfertigt, weil dann schon hunderte bzw. tausende von Anordnungsalternativen bestehen.

Die Kontraktionsmethode ist bereits als ein Verfahren charakterisiert worden, dessen besondere Bedeutung in der ergänzenden Anwendung liegt. Sie sollte daher zusätzlich zu den anderen Verfahren eingesetzt werden, sofern die Bildung von Anordnungsgruppen notwendig ist. Eine Ausnahme stellt dabei lediglich die Kreismethode dar, weil diese ja ohnehin Gruppenstrukturen sichtbar machen kann. Ihre Anwendung ist in Fällen anzuraten, in welchen die räumlichen Gegebenheiten eine Gruppenbildung unumgänglich erscheinen lassen, aber andererseits die Kontraktionsmethode wegen ihrer recht komplizierten Vorgehensweise gescheut wird.

Obwohl auch bei Beachtung dieser Auswahl-Gesichtspunkte häufig noch Freiheitsgrade bestehen werden, mögen sie doch als Anhaltspunkte dafür gelten, wie eine vernünftige Verfahrensbestimmung auch ohne einen strengen Vergleich getroffen werden kann.

E. Die Mängel der Layout-Feinplanung

Zunächst ist zu bemängeln, dass eine nähere Untersuchung der potentiellen Auswirkungen der Höhe von Einrichtungen und Gebäuden auf den Layout-Grobplan unterblieb. So konnte kein Verfahren genannt werden, welches eventuellen Beschränkungen infolge der Höhe in systematischer Weise Rechnung trägt.¹⁾

Abgesehen davon bieten der geringe Informationsgehalt der Hinweise für die Werkstatt-Einrichtung sowie der begrenzte Wert der für die Arbeitsplatz-Gestaltung ausschlaggebenden Bewegungsstudie Anlass zur Kritik.

1) Da die Nicht-Beachtung der Höhe schon bei der kritisierten Normierung des Layout-Problems als grosse Vereinfachung gekennzeichnet wurde, soll dieser Mangel hier nicht weiter erörtert werden.

1. Der geringe Informationsgehalt der Hinweise für das Werkstatt-Layout

Im wesentlichen wurden zwei Hinweise diskutiert. Zum einen der an einer guten Übersicht und Kontrolle und zum anderen der an den Transportkosten orientierte Ansatz.¹⁾ Beide haben jedoch nur einen recht kleinen Aussagegehalt.

Was die Übersicht und Kontrolle angeht, blieb weitgehend offen, wann denn nun die erwähnten Werkstatt-Formen (Reihe, Kreis, Stern) in Betracht kommen. Der Standort des Kontrolleurs ist nicht zwangsläufig ausschlaggebend. Wenn z.B. der Mittelpunkt der Werkstatt dafür geeignet erscheint, ist immer noch fraglich, ob eine Kreis- oder Stern-Anordnung die bessere Übersicht gewährt; selbst eine Reihenaufstellung ist nicht automatisch ausgeschlossen. Ausserdem ist zu berücksichtigen, dass im Rahmen der drei Aufstellungsmöglichkeiten noch viele Variationen denkbar sind (Längsreihen, Querreihen; Doppelkreise; Sterne mit verschieden vielen "Strahlen" usw.).

Auch der Transportkosten-Ansatz hilft kaum weiter. Zwar zeigt er einen möglichen systematischen Lösungsweg auf, seine praktische Durchführung dürfte aber wegen der schwierigen Abschätzbarkeit der sich aus einer Veränderung des Transportweganteils ergebenden Kostenvariationen nicht allzu oft in Betracht kommen.

Das Werkstatt-Layout erweist sich daher als ein besonders schwer zugängliches und in dieser Arbeit nur unbefriedigend gelöstes Planungsproblem.

2. Der begrenzte Wert der Bewegungsstudie

Grundlage für das Arbeitsplatz-Layout sind die dem Layout-Planer vorgegebenen Bewegungsfolgen. Gegen die Bewegungsstudie be-

1) Vgl. III D 2.

stehen aber mehrere Einwände, wodurch zugleich das darauf basierende Arbeitsplatz-Layout betroffen wird.¹⁾

Der erste Einwand zielt auf die zu geringe Berücksichtigung der individuellen Bewegungsweise des Arbeiters durch die Bewegungsstudie.²⁾ Die aufgrund einer Studie ermittelte Bewegungsfolge zur Durchführung eines Arbeitsganges ist für alle Arbeiter verbindlich, weil nicht jeder Arbeitsplatz für jeden Arbeiter individuell ausgestattet werden kann. Leistungseinbussen bei Arbeitern, denen ein solches Arbeitsplatz-Layout nicht liegt, sind die Folge.

Weiter ist zu bemängeln, dass mit Hilfe der Bewegungsstudie nicht zwingend die beste aller möglichen Bewegungsfolgen festgelegt wird. Das würde ein Ausprobieren aller denkbaren Bewegungsabläufe erfordern. Wegen der grossen Zahl von Alternativen ist das jedoch meist nicht durchführbar.

Schliesslich muss kritisiert werden, dass trotz des Systems vorbestimmter Zeiten keine sichere Aussage über die unterschiedliche Qualität alternativer Bewegungsfolgen möglich ist. Ein Bewegungsablauf darf nämlich nicht ausschliesslich nach der Summe der Zeitwerte für die Bewegungsgrundelemente bewertet werden. Zwar setzt er sich aus einzelnen Teilbewegungen zusammen, der geschlossene Ablauf bedeutet aber mehr als die Summe von Bewegungsgrundelementen.³⁾ Er ist auch daraufhin zu überprüfen, ob und inwieweit er den Grundsätzen der Bewegungsökonomie Rechnung trägt. Denn die Fehler, die bewegungsökonomisch gemacht werden können, wenn man sich nur an die Zeitwerte der Teilbewegungen hält, sind beträchtlich.⁴⁾

1) Ebenso wie die Bewegungsstudie dürften regelmässig auch die ergriffenen weiteren Massnahmen zur Bestimmung des Datums "Fertigungsverfahren" Mängel aufweisen. Da in dieser Arbeit aber nur auf die Bewegungsstudie etwas näher eingegangen wurde, beschränkt sich die Kritik auf diesen Teilaspekt der Fixierung des Fertigungsverfahrens.

2) Vgl. Kaminsky und Schmidtke (Bewegungsstudien) S. 185

3) Vgl. Ebenda S. 81

4) Vgl. Ebenda S. 183

Daher sollte ein Ablauf sowohl als Summe von einzelnen Teilbewegungen als auch als Ganzheit unter bewegungsökonomischem Aspekt gesehen und beurteilt werden. Da aber nicht genau messbar ist, inwieweit bestimmte Grundsätze der Bewegungsökonomie erfüllt sind, kann auch nicht immer eine eindeutige Bewertung der Bewegungsabläufe erfolgen.

Trotz ihrer Grenzen muss die Bewegungsstudie aber als ein wirksames Instrument zur günstigen Arbeitsplatzgestaltung bezeichnet werden. Die Technik der Bewegungsstudie ist heute nämlich schon soweit fortgeschritten, dass bei ihrer fachgerechten Durchführung regelmässig recht gute Bewegungsfolgen erarbeitet werden. Aus diesem Grund verliert auch die gemachte Kritik an Gewicht.

V. Zusammenfassung

Gegenstand der vorliegenden Untersuchung war die Problematik des Layout im Fertigungsbereich von Industriebetrieben. Unter "Layout" wurde die Anordnung der Gesamtheit der Produktionsanlagen verstanden. Eine wichtige Eingrenzung der Thematik ergab sich durch die Beschränkung auf Betriebsneuplanungen. Ausserdem wurden bestimmte Mindest-Daten nämlich das Produktprogramm, das Fertigungsverfahren und das Betriebsgrundstück als gegeben angenommen.

Die Layout-Problematik äussert sich regelmässig darin, dass zur Einrichtung von Betrieben viele verschiedene Möglichkeiten bestehen, von denen jedoch im Hinblick auf die Höhe der beeinflussbaren Kosten (z.B. Transport-, Installations-, Entwicklungskosten) nur wenige zufriedenstellend oder gar optimal sind.

Zweck der Erörterungen war es daher, einen systematischen Weg zur Planung eines optimalen Layout aufzuzeigen. Die allgemeine Layout-Zielsetzung bestand in der Minimierung der Summe der beim Layout beeinflussbaren Kosten. An ihre Stelle trat allerdings oft die spezielle Zielsetzung der Transportkosten-Minimierung.

Nach der Darstellung der Layout-Einflussfaktoren wurde ein in fünf Schritte gegliederter Planungsablauf (Aufgabenanalyse, Datenermittlung, Grobplanung, Feinplanung, Installationsplanung) entworfen, der als Schema zur Layout-Entwicklung angesehen werden kann.

Im ersten Planungsschritt muss man sich über die Layout-Aufgabe ein klares Bild verschaffen. Danach sind die jeweils erforderlichen Daten zu ermitteln, wobei zur besseren Übersicht der Katalog der Einflussfaktoren herangezogen werden kann. Das Hauptgewicht der Planungsbemühungen liegt auf der Layout-Grobplanung, die in drei Phasen unterteilt wird.

Zunächst werden die Anordnungseinheiten (einzelne verschiedenartige Arbeitsplätze oder Gruppen funktionsgleicher Arbeitsplätze), dargestellt durch kleine Punkte, unter Einsatz spezieller Verfahren auf einer zusammenhängenden Fläche optimal verteilt (Ermittlung des optimalen normierten Verteilungsdiagramms). Als Zielsetzung fungiert hier regelmässig die Transportkosten-Minimierung.

Danach wird das Raumdiagramm konstruiert. Dabei kommt die tatsächliche flächenmässige Ausdehnung der im Verteilungsdiagramm gezeigten Anordnungseinheiten zum Ausdruck. Die Höhe der Einrichtungen bleibt aber unberücksichtigt.

Schliesslich muss das Raumdiagramm an die bestehenden räumlichen Gegebenheiten (Grundstücke und Gebäude) angepasst werden. Auch hier findet lediglich die flächenmässige Ausdehnung von Anlagen und Räumlichkeiten nicht jedoch ihre Höhe Beachtung. Bei ungünstigen Flächenverhältnissen (ungeeignete Form der Gesamtfläche, viele Teilflächen wie Hallen und Stockwerke) können erhebliche Umstellungen erforderlich sein, die mit Hilfe der sogenannten Kontraktionsmethode in bestmöglicher Weise vorzunehmen sind.

Den folgenden (vierten) Schritt der Layout-Planung bildet die Layout-Feinplanung. Diese befasst sich mit der Detaillierung der im Rahmen der Grobplanung angeordneten Einheiten und der optimalen Verteilung der Layout-Details (z. B. der Arbeitsplatzkomponenten). Ausserdem wird die bisher vernachlässigte Höhe der Einrichtungen in die Betrachtungen einbezogen. Wie die Grobplanung lässt sich auch die Feinplanung in drei Phasen aufteilen.

In der ersten Phase werden die zur Darstellung der Layout-Feinheiten erforderlichen Instrumente (Zeichnungen, Schablonen, dreidimensionale Modelle entwickelt).

Die zweite Phase ist nur zu vollziehen, wenn es sich bei den Anordnungseinheiten um Gruppen gleichartiger Arbeitsplätze (Werkstätten) handelt. Dann müssen die Arbeitsplätze innerhalb der Werkstatt einander möglichst günstig zugeordnet werden. Dabei spielt oft anstelle der Transportkosten der Gesichtspunkt der besten Übersicht und Kontrolle eine wichtige Rolle.

In der dritten Feinplanungsphase geht es um die Arbeitsplatzgestaltung (das Arbeitsplatz-Layout). Die Arbeitsplatzkomponenten (Maschinen, Tische, Regale, Behälter sowie die Arbeiter selbst) sind so anzuordnen, dass ein Arbeitsgang in einer optimalen Bewegungsfolge erledigt werden kann.

Der fünfte und letzte Schritt des Layout-Planungsablaufs ist die Installationsplanung. Hier wird festgelegt, wie das im Plan fertige Layout am besten in die Realität übertragen werden kann.

An die Schilderung des Planungsablaufs schloss sich eine kritische Analyse der bisherigen Ausführungen an. Dabei kam eine ganze Reihe von Unzulänglichkeiten wie z. B. die Vereinfachungen und Mängel der Grob- und Feinplanung zutage. Es wurde deutlich, wie weit man beim heutigen Stand der Planungsverfahren noch von der Erfüllung der Layout-Zielsetzung nach Minimierung aller beeinflussbarer Kosten entfernt ist. Für zukünftige Untersuchungen auf dem Gebiet des Layout bleibt deshalb noch viel Raum.

Literaturverzeichnis

I. Selbständige Schriften

- Ackoff, Russel L. und Maurice W. Sasieni: (Research) Operations Research. Stuttgart 1970.
- Ahrens, J. H. L.: (Unternehmensforschung) Die Behandlung einiger kombinatorischer Probleme in der Unternehmensforschung mit Hilfe von Rechenmaschinen. Unveröffentlichtes Vortragsmanuskript. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Unternehmensforschung (DGU). Mannheim 1965.
- Ambrosius, Ludwig und Hans Joachim Laumann: (Sicherheit) Sicherheit beim innerbetrieblichen Transport und beim Stapeln, München 1966.
- Angermann, Adolf: (Entscheidungsmodelle) Entscheidungsmodelle. Frankfurt am Main 1963.
- Apple, James M.: (Layout) Plant Layout and Materials Handling. Second Edition. New York 1963.
- Beckmann, Martin J.: (Planungsrechnung) Lineare Planungsrechnung. Ludwigshafen 1959.
- Buffa, Elwood S.: (Models) Models for Production and Operations Management. New York, London 1963.
- Churchman, C. West und Russel L. Ackoff und E. Leonard Arno: (Research) Operations Research. Eine Einführung in die Unternehmensforschung. Wien, München 1961.
- Dantzig, George B.: (Programming) Linear Programming and Extensions. Princeton, New Jersey 1963.
- Ellersieck, Kurt: (Materialflusskosten) Materialflusskosten im Betrieb. Wiesbaden 1958.
- Ellinger, Theodor: (Ablaufplanung) Ablaufplanung. Stuttgart 1959.
- Fackelmeyer, Arno: (Materialfluss) Materialfluss. Planung und Gestaltung. Düsseldorf 1966
- Flottmeyer, Heinrich: (Millionen) Die geretteten Millionen. Wiesbaden 1958

- Funke, Hermann: (Betriebswirtschaft) Die Betriebswirtschaft im Maschinenbau. 3. Auflage. Freiburg im Breisgau o. J.
- Görsch, Johannes und Werner Riege: (Materialfluss) Materialfluss in der Einzelfertigung des Maschinenbaues. Wiesbaden 1958.
- Goslin, Lewis N.: (Planning) The Product-Planning System. Homewood, Illinois 1967.
- Gutenberg, Erich: (Betriebswirtschaftslehre, Bd.1) Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre. 17. Auflage. 1. Bd. (Die Produktion). Berlin, Heidelberg, New York 1970.
- Heiner, Heinz-August: (Förderwesen) Die Rationalisierung des Förderwesens in Industriebetrieben. Berlin 1961.
- Hennig, Karl Wilhelm: (Betriebswirtschaftslehre) Betriebswirtschaftslehre der industriellen Erzeugung. 5. Auflage. Wiesbaden 1969.
- Hilf, Hubert Hugo: (Arbeitswissenschaft) Arbeitswissenschaft. München 1957.
- Hoss, Klaus: (Fertigungsablaufplanung) Fertigungsablaufplanung mittels operationsanalytischer Methoden. Würzburg, Wien 1965.
- Immer, John R.: (Layout) Layout Planning Techniques. New York, Toronto, London 1950.
- Immer, John R.: (Handling) Materials Handling. New York, Toronto, London 1953.
- Kalveram, Wilhelm: (Industriebetriebslehre) Industriebetriebslehre. 7. Auflage. Wiesbaden 1960.
- Kaminsky, G. und H. Schmidtke: (Bewegungsstudien) Arbeitsablauf- und Bewegungsstudien. München 1960.
- Kern, Werner: (Fertigungskapazitäten). Die Messung industrieller Fertigungskapazitäten und ihrer Ausnutzung. Köln und Opladen 1962.
- Kern, Werner: (Research) Operations Research. 2. Auflage. Stuttgart 1966.
- Kern, Werner: (Optimierungsverfahren) Optimierungsverfahren in der Ablauforganisation. Essen 1967.

- Kiehne, Rolf: (Standortplanung) Innerbetriebliche Standortplanung und Raumzuordnung. Wiesbaden 1969.
- Kosiol, Erich: (Buchhaltung) Kalkulatorische Buchhaltung. 5. Auflage. Wiesbaden 1953.
- Kosiol, Erich: (Anlagenrechnung) Anlagenrechnung. 2. Auflage. Wiesbaden 1955.
- Kosiol, Erich: (Organisation) Organisation der Unternehmung. Wiesbaden 1962.
- Kosiol, Erich: (Kostenrechnung) Kostenrechnung. Wiesbaden 1964.
- Kosiol, Erich: (Aktionszentrum) Die Unternehmung als wirtschaftliches Aktionszentrum. Reinbeck bei Hamburg 1966.
- Krekó, Béla: (Optimierung) Lehrbuch der linearen Optimierung. 3. Auflage. Berlin 1968.
- Krelle, Wilhelm und Paul Künzi: (Programmierung) Lineare Programmierung. Zürich 1968.
- Krippendorff, Herbert: (Materialfluss) Integrierter Materialfluss. München 1965.
- Kulhavy, Ernest: (Research) Operations Research. Wiesbaden 1963.
- Lange, Oskar: (Entscheidungen) Optimale Entscheidungen. Warschau 1968.
- Mallick, Randolph W. und Armand T. Gaudreau: (Layout) Plant Layout-Planning and Practice. New York, London 1951.
- Mellerowicz, Konrad: (Industrie, Bd. 1) Betriebswirtschaftslehre der Industrie. 3. Auflage. 1. Bd. Freiburg i.Br. 1958.
- Mellerowicz, Konrad: (Industrie, Bd. 2) Betriebswirtschaftslehre der Industrie. 3. Auflage. 2. Bd. Freiburg i.Br. 1958.
- Moore, James M.: (Layout) Plant Layout and Design. New York 1962.
- Müller-Merbach, Heiner: (Research) Operations Research. Berlin und Frankfurt 1969.
- Muther, Richard: (Layout) Practical Plant Layout. New York, Toronto, London 1955.
- Nadler, Gerald: (Design) Work Design. Homewood, Illinois 1963

- Niebel, Benjamin W.: (Study) Motion And Time Study. Forth Edition. Homewood, Illinois 1967.
- Pristl, Ferdinand: (Arbeitsvorbereitung) Arbeitsvorbereitung. 4. Auflage. Berlin, Heidelberg, New York 1967.
- Reed, Ruddell: (Layout) Plant Location, Layout, and Maintenance. Homewood, Illinois 1967.
- Refa: (Zeitvorgabe, Bd. 2) Das Refa Buch. 2. Bd. (Zeitvorgabe). 7. Auflage. München 1957.
- Refa: (Arbeitsgestaltung, Bd. 1) Das Refa Buch. 1. Bd. (Arbeitsgestaltung). 9. Auflage. München 1960.
- Reinfeld, Nyles V. und William R. Vogel: (Programming) Mathematical Programming. Prentice-Hall 1958.
- Riebel, Paul: (Erzeugungsverfahren) Industrielle Erzeugungsverfahren in betriebswirtschaftlicher Sicht. Wiesbaden 1963.
- Sasieni, Maurice und Arthur Yaspan und Lawrence Friedman: (Methoden) Methoden und Probleme der Unternehmensforschung. 2. Auflage. Würzburg-Wien 1965.
- Schäfer, Erich: (Industriebetrieb) Der Industriebetrieb. Köln und Opladen 1969.
- Schmidt, Friedhelm: (Standort) Die Bestimmung des Produktionsmittel-Standortes in Industriebetrieben. Berlin 1965.
- Schmidt, Ralf-Bodo unter Mitwirkung von Klaus Chmielewicz: (Kosiol) Erich Kosiol. Quellen, Grundzüge und Bedeutung seiner Lehre. Stuttgart 1967.
- Schweitzer, Marcell: (Ablauforganisation) Probleme der Ablauforganisation in Unternehmungen. Berlin 1964.
- Seidel, Nikolaus: (Fertigungsvorbereitung) Praktische Fertigungsvorbereitung. 2. Auflage. München 1967.
- Slatosch, Herbert: (Materialfluss) Die Probleme des Materialflusses. Stuttgart 1956.
- Timms, Howard L.: (Management) Introduction to Operations Management. Homewood, Illinois 1967.
- Todt, H. -J.: (Maschinenanordnung) Verbesserung der Maschinenanordnung in einer mechanischen Serienfertigung. Veröffentlicht durch das RKW in der Reihe: Betriebstechnische Fachberichte. Berlin, Köln, Frankfurt (Main) 1968.

- Todt, H.-J.: (Materialfluss) Materialfluss-Optimierung im Werkstättenverkehr einer Einzelfertigung. Veröffentlicht durch das RKW in der Reihe: (Betriebstechnische Fachberichte. Berlin, Köln, Frankfurt (Main) 1968.
- Vajda, Steven: (Programmierung) Lineare Programmierung, Beispiele. Zürich 1960.
- VDI/AWF-Fachgruppe Förderwesen (Hrsg.): (Transporte) Innerbetriebliche Transporte. Düsseldorf 1963.
- Wills, Franz Hermann: (Layout) Layout. Essen 1957.
- Woitschach, Max und Günter Wenzel: (Planungsrechnung) Lineare Planungsrechnung in der Praxis. 2. Auflage. Stuttgart 1961.

II. Beiträge in Zeitschriften und Sammelwerken

- Armour, Gordon C. und Elwood S. Buffa: (Algorithm) A Heuristic Algorithm And Simulation Approach To Relative Location Of Facilities. In: MS 9 (1963), S. 294-309.
- Beckmann, Martin J.: (Standort) Über den optimalen Standort eines Verkehrsnetzes. In: ZfB 35 (1965), S. 65-80.
- Behnert, K. und A. Becker: (Standort) Das Problem des optimalen Standortes. In: APF 3 (1962), S. 3-12.
- Beste, Theodor: (Fertigungswirtschaft) Fertigungswirtschaft und Beschaffungswesen. In: Handbuch der Wirtschaftswissenschaften. Hrsg. Karl Hax und Theodor Wessels. 2. Auflage. Köln und Opladen 1966. S. 111-275.
- Bindschedler, André E. und James M. Moore: (Location) Optimal Location Of New Machines In Existing Plant Layouts. In: JIE 12 (1961), S. 41-48.
- Bitterli, Erwin: (Einfluss) Einfluss gesetzlicher Bestimmungen und Sicherheitsforderungen auf die Planung. In: IO 30 (1961), S. 349-356.
- Bloch, Willy: (Dreieckverfahren) Maschinenaufstellung nach dem Dreieckverfahren. In: IO 19 (1950), S. 305-308.
- Büchel, Alfred: (Planung) Beziehung zwischen Planung, Betriebsablauf, Transportwesen und Raumausnutzung. In: IO 30 (1961), S. 365-372.
- Büchler, Marc F.: (Verlegung) Verlegung eines Industriebetriebes. In: IO 30 (1961), S. 357-364.
- Buffa, Elwood S.: (Sequence) Sequence Analysis for Functional Layouts. In: JIE 6 (März-April 1955), S. 12-25.

- Buffa, Elwood S. und Gordon C. Armour und Thomas E. Vollmann: (Allocating) Allocating Facilities with CRAFT. In: Havard Business Review 42 (März - April 1964), S. 136-158.
- Burckhardt, W.: (Optimierung) Zur Optimierung von räumlichen Zuordnungen. In: APF 10 (1969), S. 233-248.
- Buser, Peter: (Kreismethode) Die Kreismethode zur Bestimmung eines Layouts. In: IO 35 (1966), S. 31-39.
- Daenzer, Walter F.: (Arbeitsplatzgestaltung) Grundlagen der Arbeitsplatzgestaltung. In: IO 27 (1958), S. 45-49.
- Dietler, Hans: (Materialfluss) Materialfluss bei der Herstellung von Kühlschränken und Boilern. In: IO 23 (1954), S. 70-72.
- Domainko, Dragutin: (Organisation) Die rationelle Organisation des innerbetrieblichen Transports. In: IO 35 (1966), S. 21-30.
- Ellersieck, K. und E. Leimeister: (Transportkosten) Methodenskizze zur betriebswirtschaftlichen Erfassung der Transportkosten. In: ZfB 24 (1954), S. 363-379.
- Fackelmeyer, Arno: (Materialfluss) Innerbetrieblicher Materialfluss. In: Industrielle Produktion. Hrsg. Klaus Agthe, Hans Blohm, Erich Schnauffer. Baden-Baden und Bad Homburg 1967. S. 585-623.
- Fässler, Thedy: (Layout-Planung) Hilfsmittel der Layout-Planung. In: IO 30 (1961), S. 421-424.
- Finder, Erich C.W.: (Planen) Planen nach dem Layoutverfahren. In: ZwF 55 (1960), S. 55-58.
- Gaschütz, G.K. und J.H. Ahrens: (Assignment) Suboptimal Algorithms For The Quadratic Assignment Problem. In: Naval Research Logistics Quarterly 15 (1968), S. 49-62.
- Gavett, J.W. und Norman V. Plyter: (Assignment) The Optimal Assignment Of Facilities To Locations By Branch and Bound. In: OR 14 (1966), S. 210-232.
- Gfeller, Hans: (Arbeitsplatzgestaltung) Arbeitsvereinfachung durch Arbeitsplatzgestaltung. In: IO 23 (1954), S. 173-180.
- Hertlein, H. und F. Benthin: (Fabrikbau) Fabrikbau. In: Hütte, Taschenbuch für Betriebsingenieure. Hrsg. Akademischer Verein Hütte. 6. Auflage. Berlin-München 1965. Bd. 3, S. 1-48.

- Hillier, Frederick S.: (Tools) Quantitative Tools for Plant Layout-Analysis. In: JIE 14 (1963), S. 33-40.
- Hillier, Frederick S. und Michael M. Connors: (Assignment) Quadratic Assignment Problem Algorithms And The Location Of Indivisible Facilities. In MS 13 (1967), S. 42-57.
- Hilterhaus, Wilhelm: (Stoffflussbilder) Die Entwicklung von Stoffflussbildern und ihre Bedeutung für die Transportationalisierung im Hüttenwerk. In: Rationalisierung 7 (1956), S. 61-65.
- Hofer, Hans Rudolf: (Materialfluss) Die organisatorischen Voraussetzungen eines rationellen Materialflusses. In: IO 23 (1954), S. 37-43.
- Hohmann, E.: (Materialfluss) Der Materialfluss und die Lager- und Transportkosten im Betrieb. In: Zwf 63 (1968), S. 229-231.
- Hundhausen, Carl: (Standortsfragen) Innerbetriebliche Standortfragen. In: ZfhF 20 (1926), S. 1-52.
- Kasper, Hansjörg: (Ausbau) Ausbau eines Industriebetriebes. In: IO 30 (1961), S. 407-416.
- Koopmans, Tjalling C. und Stanley Reiter: (Transportation) A Model Of Transportation. In: Activity Analysis Of Production And Allocation. Edited by Tjalling C. Koopmans. New York, London 1951. S. 222-259.
- Koopmans Tjalling C. und Wm. C. Hood: (Estimation) The Estimation Of Simultaneous Linear Economic Relationships. In: Studies In Econometric Method. Edited by Wm. C. Hood and Tjalling C. Koopmans. Third Edition. New York, London 1962. S. 112-199.
- Kosiol, Erich: (Kostenrechnung) Kostenrechnung (einschliesslich Betriebsabrechnung und Kalkulation). In: HWB. Hrsg. Hans Seischab und Karl Schwantag. 3. Auflage. Stuttgart 1958. Bd. 2 Sp. 3426-3448.
- Kosiol, Erich: (Planung) Planung als Lenkungsinstrument der Unternehmungsleitung. In: ZfB 35 (1965), S. 389-401.
- Krippendorff, Herbert: (Materialfluss) Die Untersuchung innerbetrieblicher Materialfluss- und Transportverhältnisse. In: IO 23 (1954), S. 51-56.
- Krippendorff, Herbert: (Kosten) Die Kosten des Materialflusses. In: Rationalisierung 6 (1955), S. 133-136.

- Krippendorff, Herbert: (Fabrikplanung) Fabrikplanung und Fördertechnik. In: Rationalisierung 7 (1956), S. 27-31.
- Krippendorff, Herbert: (Materialfluss) Industrieplanung und Materialfluss. In: ZwF 61 (1966), S. 574-577.
- Langen, Heinz: (Regelkreis) Der Betrieb als Regelkreis. In: Organisation und Rechnungswesen. Festschrift für Erich Kosiol zu seinem 65. Geburtstag. Hrsg. Erwin Grochla. Berlin 1964. S. 81-100.
- Lawler, Eugene L.: (Assignment) The Quadratic Assignment Problem. In: MS 9 (1962/63), S. 586-599.
- Lee, Robert C. und James M. Moore: (CORELAP) CORELAP-Computerized Relationship Layout Planning. In: JIE 18 (1967), S. 195-200.
- Lerch, Heinz: (Materialflussuntersuchung) Materialflussuntersuchungen als Planungsunterlage. In: IO 30 (1961), S. 417-420.
- Llewellyn, Robert W.: (Charting) Travel Charting with Realistic Criteria. In: JIE 9 (1958), S. 217-220.
- Martz, Otto: (Planung) Planung von Fabrikgrundrissen. In: IO 23 (1954), S. 91-96.
- Mühlbauer, E.: (Werkstätten) Einrichten von Werkstätten. In: Hütte, Taschenbuch für Betriebsingenieure. Hrsg. Akademischer Verein Hütte. 6. Auflage. Berlin-München 1965. Bd. 3. S. 48-68.
- Müller, H.R.: (Fördereinrichtungen) Wirtschaftliche Fördereinrichtungen. In: ZwF 52 (1957), S. 108-110.
- Müller, H.R.: (Materialfluss) Materialfluss und innerbetriebliches Förderwesen. In: ZwF 54 (1959), S. 35-40.
- Muther, Richard: (Fabrikplanung) Fabrikplanung. In: HIE. Hrsg. H.B. Maynard. Berlin, Köln, Frankfurt /M. 1956. Bd. 7. S. 30-91.
- Nugent, Christopher E. und Thomas E. Vollmann und John Ruml: (Comparison) An Experimental Comparison Of Techniques For The Assignment Of Facilities To Locations. In: OR 16 (1968), S. 150-173.

- Pack, Ludwig und Rolf Kiehne und Heinrich Reiner mann: (Raumform) Raumzuordnung und Raumform. In: Management International (1966, Heft 5), S 7-23.
- Pack, Ludwig: (Raumzuordnung) Raumzuordnung und Raumform. In: Heft 170 der Arbeitsgemeinschaft für Forschung des Landes Nordrhein-Westfalen. Hrsg. Leo Brandt. Köln und Opladen 1967. S. 45-75.
- Presgrave, Ralph und G.B. Bailey: (Timestudy) Basic Motion Timestudy. In: HIE, Hrsg. H.B. Maynard. Berlin, Köln, Frankfurt/M. 1956. Bd. 4. S. 143-158.
- Quick, Joseph H. und James H. Duncan und James A. Malcolm: (System) Das Work-Factor-System. In: HIE. Hrsg. H.B. Maynard. Berlin, Köln, Frankfurt/M. 1956. Bd. 4. S. 61-141.
- Reis, Irvin L. und Glenn E. Andersen: (Factors) Relative Importance Factors in Layout Analysis. In: JIE 11 (1960), S. 312-316.
- Ricken, Th.: (Transportrationalisierung) Grundsätzliches zur Transportrationalisierung. In: ZwF 62 (1967), S. 225-226.
- Riege, Werner: (Materialfluss) Materialfluss in der Einzelfertigung. In: ZwF 55 (1960), S. 49-55.
- Rüegger, Hans R.: (Neubauten) Neubauten, Erweiterungs- und Umbauten. In: IO 30 (1961), S. 373-396.
- Schmidt, Eberhard: (Arbeitsablauf) Die Bedeutung von Arbeitsablauf und Materialfluss für Betrieb und Wirtschaft. In: IO 23 (1954), S. 29-36.
- Schmitz, Albert: (Organisation) Organisation und Technik - Mittel zur Rationalisierung im Verkehr. In: Rationalisierung 19 (1968), S. 256-263.
- Schneider, Marshall: (Charting) Cross Charting Technique as a Basis for Plant Layout. In: JIE 11 (1960), S. 478-483.
- Schwab, John L.: (Measurement) Methods-Time-Measurement. In: HIE. Hrsg. H.B. Maynard. Berlin, Köln, Frankfurt/M. 1956. Bd. 4. S. 21-60.
- Schweitzer, Marcell: (Prozessstrukturierung) Die Reihenfolge der Bearbeitung als Problem der Prozessstrukturierung. In: Organisation und Rechnungswesen. Festschrift für Erich Kosiol zu seinem 65. Geburtstag. Hrsg. Erwin Grochla. Berlin 1964. S. 181-207.

- Seehof, Jerrold M. und Wayne O. Evans: (Layout) Automated Layout Design Program. In: JIE 18 (1967), S. 690-695.
- Shaw, Anne G.: (Bewegungsstudium) Bewegungsstudium. In: HIE. Hrsg. H.B. Maynard. Berlin 1960. Bd. 2. S. 86-132.
- Silberkuhl, Wilhelm J. und Eberhard Alms: (Fabrikanlagen) Die Planung von Fabrikanlagen. In: Industrielle Produktion. Hrsg. Klaus Agthe, Hans Blohm, Erich Schnauffer. Baden-Baden und Bad Homburg 1967. S. 425-455.
- Smith, Wayland P.: (Charting) Travel Charting-First Aid For Plant Layout. In: JIE 6 (Januar 1955), S. 13-26.
- Soom, Erich: (Organisation) Organisation des Transportwesens. In: IO 23 (1954), S. 57-65.
- Steffy, Bert: (Anwendung) Die Anwendung vorbestimmter Zeiten. In: HIE. Hrsg. H.B. Maynard. Berlin, Köln, Frankfurt/M. 1956. Bd. 4. S. 3-20.
- Steinberg, Leon: (Algorithm) A Placement Algorithm. In: Siam Review 3 (1961), S. 37-50.
- Vollmann, Thomas E. und Elwood S. Buffa: (Facilities) The Facilities Layout Problem in Perspective. In: MS 12 (1966), S. B 450 - B 481.
- Wimmert, R.J. : (Location) A Mathematical Method of Equipment Location. In: JIE 9 (1958), S. 498-505.

III. Dissertationen

- Bänsch, Klaus-Eberhard: (Kostenrechnung) Die Kostenrechnung im Grossbetrieb als Mittel der Kommunikation und der Koordination. Diss. Köln 1958.
- Buser, Peter: (Anordnung) Wirtschaftliche Anordnung der Betriebseinrichtungen. Diss. Zürich o.J.
- Chmielewicz, Klaus: (Produktgestaltung) Grundlagen der industriellen Produktgestaltung. Diss. FU Berlin 1967.
- Hannig, Werner: (Daten) Die Berücksichtigung von Daten bei Unternehmungsentscheidungen. Diss. Freiburg i.Br. 1967.

Hundhausen, Carl: (Innerbetriebliche Standortsfragen) Innerbetriebliche Standortsfragen. Diss. Köln 1925. (Siehe auch: (Standortsfragen) Innerbetriebliche Standortsfragen. In: ZfhF 20 (1926), S. 1-52.)

Kiehne, Rolf: (Anordnung) Die räumliche Anordnung der organisatorischen Einheiten eines Systems als Planungsproblem. Diss. Münster 1968. (Siehe auch: (Standortplanung) Innerbetriebliche Standortplanung und Raumzuordnung. Wiesbaden 1969.)

Abkürzungsverzeichnis

APF	Ablauf-und Planungsforschung
HIE	Handbuch des Industrial Engineering
HWB	Handwörterbuch der Betriebswirtschaft
IO	Industrielle Organisation
JIE	The Journal of Industrial Engineering
MS	Management Science
OR	Operations Research
ZfB	Zeitschrift für Betriebswirtschaft
ZfhF	Zeitschrift für handelswissenschaftliche Forschung
ZwF	Zeitschrift für wirtschaftliche Fertigung

Lebenslauf

Am 20. März 1944 wurde ich als Sohn des Oberleutnants Heinz Herold und seiner Ehefrau Helene Herold, geborene Steiner, in Riesa/Sachsen geboren.

Im Frühjahr 1950 wurde ich eingeschult. Nach der Grundschulzeit besuchte ich die Wissenschaftliche Oberschule, die Luise-Henriette-Schule in Berlin-Tempelhof, wo ich 1963 mein Abitur machte. Im April 1963 begann ich an der Freien Universität Berlin das Studium der Betriebswirtschaftslehre, das ich im Sommer 1968 an der FU abschloß. Im Rahmen des Studiums leistete ich zwei je halbjährige Praktika in Berliner Großbetrieben ab.

Von Oktober 1968 bis März 1972 arbeitete ich als Wissenschaftlicher Tutor (Teilzeit-Assistent) am Institut für Volkswirtschaftslehre der Freien Universität Berlin. Seit April 1972 bin ich in einem Großunternehmen der chemischen Industrie in der Bundesrepublik tätig.

1. Auflage

Die vorliegende Arbeit ist eine Zusammenfassung der Ergebnisse der Untersuchungen über die Wirkung von ...

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Die Tabelle zeigt die Wirkung von ...

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst:

Druck:

Der Präsident der Freien Universität Berlin
- Universitätsdruckerei -

1 Berlin 41, Kelchstraße 31

